المركز القومى للترجمة

المشروع القومى للترجمة

مارتن ريس

منظور جديد لكونيات الفيزياء الفلكية

ترجمة وتقديم

عاطف يوسف محمود

1619

منظور جديد لكونيات الفيزياء الفلكية

المركز القومى للترجمة
إشراف: جابر عصفور

- العدد: 1619
- منظور جديد لكونيات الفيزياء الفلكية
- مارتن ريس
- عاطف يوسف محمود
- الطبعة الأولى 2010

هذه ترجمة كتاب:

New Perspectives in Astrophysical Cosmology
Second Edition
By Martin Rees

First Published by the Syndicate of
the Press of the University of Cambride , England

شارع الجبلاية بالأوبرا - الجزيرة - القاهرة ت: ٢٧٣٥٢٣٩٦ فاكس: ٢٧٣٥٨٠٨٤

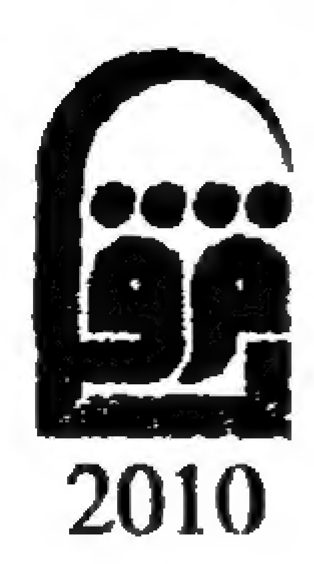
El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo

E- mail: egyptcouncil@yahoo.com Tel: 27354524 - 27354526 Fax: 27354554

منظور جديد
لكونيات الفيزياء الفلكية

تأليف: مارتن ريس

ترجمة وتقديم : عاطف يوسف محمود



2010

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

ريس، مارتن

منظور جديد لكونيات الفيزياء الفلكية / تأليف: مــارتن ريــس،

ترجمة وتقديم: عاطف يوسف محمود

ط ١ – القاهرة: المركز القومى للترجمة، ٢٠١٠

٢١٦ ص، ٢٤ سم

١ – الفيزياء الكونية

٢ – الفلك الطبيعى

(أ) محمود، عاطف يوسف (ترجمة وتقديم)

(ب) العنوان ٥٣٩,٧٢

رقم الإيداع ١١١٧٥ / ٢٠١٠

الترقيم الدولى: I.S.B.N - 978-977- 704 - 117- 1

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

تهدف إصدارات المركز القومى للترجمة إلى تقديم الاتجاهات والمذاهب الفكرية المختلفة للقارئ العربى وتعريفه بها، والأفكار التى تتضمنها هى اجتهادات أصحابها فى ثقافاتهم، ولا تعبر بالضرورة عن رأى المركز.

المحتويات

الباب الرابع: الكوازارات (أشباه النجوم) والدراسة الإحصائية لها

الباب الخامس: بعض وسائل الاستشعار، والمتخلفات من الكون ذى الانزياح الكبير صوب الأحمر

الباب السادس: بعض المسائل الجوهرية

مقدمة المترجم

حتى بزوغ عصر الفضاء كان علم الفلك دائمًا يعتبر علما حافلا بالأسرار، مقصورا على فئة معينة من الناس، أما الآن فإنه يقفز بغتة لا ليصبح موضوعا يستحوذ على اهتمام الناس الشديد فحسب، بل ليصبح بالمثل علما تطبيقيا له نواحيه العلمية. ومنذ ظهور الأقمار الصناعية، وكثير من الناس يرقبون السماوات، أولئك الذين لم يكن قد سبق لهم من قبل أن تطلعوا بعين الفضول إلى النجوم. والموضوعات التى ظلت سنين عددا وقفا على قلة من الاختصاصيين يحيون فى مراصد منعزلة، أخذت الآن تملأ أعمدة الصحف وشاشات التليفزيون.

لقد أصبح جليا أن الإنسان يمضى قدما إلى الأمام، فقد تخطينا مرحلة السحر والطقوس الدينية إلى العقل والمنطق، ومن الفزع الخرافى إلى الثقة الفعالة، ومن الجهل المحلى إلى المعرفة ذات الطابع العام، ومن الإيمان إلى العلم، ومن مجرد البحث عما يسد الرمق إلى الراحة والتأمل العلمى، ومن الصوفية إلى المادية، ومن الحتمية الميكانيكية إلى الشك المتفائل، ولعلنا اليوم نعيش أفضل العوالم الممكنة فى هذه المرحلة الحالية من ارتقاء البشر.

ومن الوهلة الأولى، نجد أن العلم هو الرحم الذى يخرج لنا هذا التراكم المعرفى، نراه نشاطا فريدا بين نشاطات الجنس البشرى. فهو موضوعى يستخدم أدوات البحث والبرهان المحايدة والدقيقة. ذلك لأن النظريات العلمية تصاغ ذهنيا أولا قبل أن تجرى عليها التجارب لاختبارها. فإذا تكررت النتائج وأصبحت غير قابلة للتزييف على أى نحو كان، ظلت النظرية عندئذ حية باقية، وإلا فإنها تطرح جانبا. وتطبق القواعد العلمية تطبيقا صارما، ويتم الحكم على الأبحاث العلمية بمستويات عالمية، فليس هناك فى مجال البحث العلمى أى نوع من أنواع

التبريرات. ونستطيع القول ببساطة إن هدف العلم هو اكتشاف كيف تسير الطبيعة، واستخدام ما يتم الحصول عليه من معلومات فى تعزيز حياتنا الثقافية والمادية. وفيما يختص بالمنطق الذى يوجه البحث العلمى، نجده منطقا عقلانيا لا غنى عنه فى كل الأزمان والظروف. وتتجاوز خاصية العلم هذه، كل الاختلافات التى تجعل إحـــدى الفترات الزمنية لا تقاس بفترة زمنية أخرى فى محاولات البحث العلمى، أو فى التعبير الثقافى الذى لا يمكن قبول شرحه فى سياق آخر. فالعلم لا يعرف أية حدود خاصة بالسياق، إذ يسعى فحسب للوصول إلى الحقيقة.

ولكن أية حقيقة تلك التى يسعى إليها العلم؟ ألم يتم رصد الحقيقة فى كل زمان بصور متباينة؟ ما من شك فى أن الحقيقة وكما نراها، تخضع للبنية الذهنية، ولنسترجع مقولة فيتجنشتاين: "أنت ترى ما تريد أن تراه". وهذه البنية الذهنية هى التى تمثل الرؤية الشاملة للبيئة بأكملها فى كل مجالات البحث بدءًا من المجال الكونى إلى ما دون الذرة.

وأول الخطوط الإرشادية للإنسان فى هذا الكون هو أكثرها عمومية، تلك التى تصف ماهية الكون وكيفية أدائه، ولعل من أعظم العناصر الجاذبة للفيزياء الفلكية، هو تجديدها الدائب لحلم الإنسان فى سبر أغوار الطبيعة: كيف برزت للوجود تلك البنى التى تسود كوننا اليوم من مجرات وتجمعات نجمية، من بداية هلامية فى الزمان المبكر؟ إن دراساتنا لحركة تجمعات المجرات وجمهراتها تؤكد أن هذه المنظومات حرية بالتنافر، متباعدة عن بعضها لو لم تحو من المادة أكثر بكثير مما نشاهد ونرصد، فما هو كنه هذه المادة المعتمة التى يلوح أنها المكون السائد فى الكون، وهل المتغيرات الجوهرية التى حددت طبيعة كوننا كما نعهده اليوم، ميراث من فيزيائيات جلبية غير مألوفة لنا، وفدت إلينا من مراحل أكثر تبكيرا من عمر كوننا؟ نحن لا ندرى أصلا لماذا تحتم وجود مثل هذه المجرات والتجمعات من النجوم والغاز، ولماذا كانت بهذا الاتساق وبخواصها التى تكاد تكون قياسية على المقياس الكونى. إن نحو تسعين بالمائة من الكتلة المادية الخاصة

بالمجرات متوارية عنا. فالنجوم النيرة والغازات لا تسهم إلا بحوالى عشر المادة التى تتحرك بفعل الجاذبية والتى نستنبط مقاديرها من دراساتنا للديناميكيات. وليس من الواضح لنا لماذا تتوهج نوى بعض المجرات، مطلقة كميات جبارة من الإشعاع الذى لا ينتمي للنجوم، وإنما ينبعث من تلك الأجرام التى نطلق عليها أشباه النجوم، والمجرات الراديوية.

وهذا الكتاب الشائق يحاول أن ينقل جوهر الأفكار التى تتداولها أحدث البحوث العلمية حول هذه الألغاز التى مازال الغموض يكتنفها، ومؤلفه (مارتن ريس) من علماء الكونيات الرواد، شغل كرسى الأستاذية فى جامعتى ساسكس وكمبريدج، وقد شغل منصب مدير المعهد الفلكى، كما كان أستاذا زائرا لكل من رفارد ومعهد كاليفورنيا التكنولوجى، وقد ضرب بسهم وافر فى البحوث الفلكية وحاز جائزة الكتابة فى العلوم الفيزيائية من المعهد الأمريكى، وهو يصحبنا فى الكتاب نحو بحث العديد من المسائل الحيوية فى كونيات الفيزيائيات الفلكية، ابتداءً من تمدد الكون وتباعد المجرات وسرعات تحركها الهائلة، وطبيعة المادة السوداء، والأحداث التى وقعت لدى حقب نشأة الكون المبكرة، مستعرضا آخر النظريات المتطورة وأكثرها إثارة، ويميز المؤلف تمييزا واضحا بين الجوانب التى توطدت أركانها تجريبيا وتلك التى ما زالت موضع بحث فى نظام الكون الحديث فى أسلوب يختلف عن المراجع الأخرى، ويثير شغف كل من له علم بنظام الكون وإلمام بطرف من فيزيائياته.

د.م. عاطف يوسف محمود

مقدمة المؤلف

يقوم بناء هذا الكتاب على سلسلة من المحاضرات ألقيت فى "ميلانو". وقد حاولت فى هذه المحاضرات أن أضع لجمهور المستمعين من علماء الفيزياء، فضلا عن الفلكيين، الخطوط العريضة لبعض جوانب البحوث الدائرة فى المجالات ما بين الفيزياء الفلكية عما فوق المجرات، وعلوم الكونيات والفيزياء العملية: وتتضمن الموضوعات المطروحة: نشوء المجرات، وأصل البنية الكونية، والمادة المعتمة، والإشعاع الخلفى، وما إلى ذلك.

لقد كان عرض هذه الموضوعات عموميا يمس السطح فحسب ويسلط الضوء فقط على العديد من النقاط الجوهرية لتجليتها. وقد كان هذا فى المقام الأول يعود لى أنا شخصيا، والأمر الثانى أنه كان حتميا ألا تكفى ست ساعات فقط لتغطية كل هذا النطاق من المواضيع رغم ما بذل من جهد خارق. وهذا النص الحالى المكتوب إعادة لترتيب المحاضرات (بل وتحديث لها فى بعض المواضع). على أية حال، وتماشيا مع العرف الدارج نحو الإيجاز، الذى أرسته مطبوعات سابقة ضمن هذه السلسلة، لم أتوسع فى المادة أو أتطرق إلى موضوعات تخرج عن مستوى التفاصيل مما كان يمكن بالفعل تقديمه فى المحاضرات. وللسبب نفسه فقائمة المراجع ليست بالكاملة (رغم أنها تضم عناوين مختارة لقراءة أعمال إضافية).

وهذا ليس بالقطع كتابا تدريسيا تقليديا، ولا ينهض ليكون كتابا تمهيديا قائما بذاته. بيد أننى اجتهدت فى إلقاء الضوء على ما يبدو أنه أهم الخلاصات والأفكار (رغم أن مادة الفصلين الرابع والخامس قد تم انتقاؤها إلى حد ما، إذ يركزان على رءوس موضوعات أكثر تخصصية، كنت مضطلعا بها فى ذلك الوقت). وإنى

لآمل – على وجه الإجمال- أن تنقل المحاضرات جوهر بعض التطورات الحديثة والمجادلات الدائرة الآن، دونما تشوية كبير لها، وأن تمد هذه النسخة المكتوبة من المحاضرات المتخصصين فى فروع الفيزياء الأخرى، والطلبة ممن يدرسون هذا الموضوع للمرة الأولى، بتمهيد وإطلالة شاملة يسهل استيعابهما.

وإنه لمن دواعى سرورى أن أشهد بأثر العديد من الزملاء الذين تعاونت معهم أو ناقشتهم فى الموضوعات المتعلقة بالكونيات، وأنا بالمثل ممتنّ للقراء الذين أشاروا إلى بعض الهنوات والعبارات غير المفهومة. وقد تم تدارك كل ذلك فى هذه الطبعة المنقحة، والتى تتضمن أيضا قدرا لا بأس به من المادة العلمية الجديدة، وتحديثا لطبعة عام ١٩٩٥ من الكتاب. كما أدين بالامتنان لأكاديمية "لينسى" الوطنية لدعوتى لإلقاء المحاضرات الأصلية، وللأستاذ البروفسور "إيتورو فيوريني" لدعمه وحفاوته بى فى أثناء استضافتى فى ميلانو، وللدكتور "سيمون ميتون" لتشجيعه إياى على إخراج هذه النسخة الجديدة من المحاضرات.

ملحوظات مهمة لدى مطالعة الكتاب

نظرا لكثرة الرموز العلمية الواردة بالترجمة نورد قائمة بأهمها، وكذلك بأهم المقادير الفيزيائية الثابتة المستعملة كما نود أن نشير إلى أن الأرقام الواردة بين قوسين فى أعلى بعض الكلمات أو العبارات، تشير إلى رقم المرجع الخاص بهذه الفقرة ضمن قائمة المراجع المذكورة فى نهاية الكتاب.

<u>قيم أهم الثوابت الفيزيائية:</u>

ثابت الجاذبية العام	=	٦,٦٧٢٥٩ × ١٠ $^{-٨}$ سم^{٣}/ جم. ثانية^{٢}
الصفر المطلق (على مقياس كلفن)	=	– ٢٧٣,١٦درجة مئوية
سرعة الضوء فى الفراغ	=	٢٩٩٧٩٢ كم / ث
شحنة الإلكترون	=	١,٦٠٢١٨ × ١٠ $^{-١٩}$ كولوم
كتلة الإلكترون الساكنة	=	٩,١١ × ١٠ $^{-٢٨}$ جرام
نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته	=	١,٧٥٨٨٢ × ١٠ ^{١١} كولوم / كيلوجرام
طاقة الإلكترون فولت	=	١,٦٠٢١٨ × $^{-١٩}$ جول
١ ميجا إلكترون فولت	=	١,٦٠٢١٨ × $^{-١٣}$ جول
ثابت بلانك	=	٦,٦٢٦٠٧٦ × $^{-٣٤}$ جول. ثانية
ثابت بولتزمان	=	١و٣٨٠٦٦ × $^{-٢٣}$ جول/ درجة كلفن
طول موجة كومتون	=	٠,٠٢٤٣ × ١٠ $^{-٨}$ سم
كتلة البروتون	=	١,٦٧٢٦٢٣ × ١٠ $^{-٢٧}$ كجم
طاقة البروتون الساكن	=	٩٣٨و٢٧٢ ميجا إلكترون فولت
كتلة النيوترون	=	١و٦٧٤٩٢٩ × ١٠ $^{-٢٧}$ كجم
طاقة النيوترون الساكن	=	٩٣٩,٥٦٦ ميجا إلكترون فولت
ثابت ستيفان– بولتزمان	=	٥,٦٧٠٥١ × ١٠ $^{-٨}$ وات/ م^{٢}.

(درجة كلفن)[٤]

ثابت ريدبرج = $١,٠٩٧٣٧٣ \times ١٠^{٧}$ م$^{-١}$

نصف قطر بور = $٥,٢٩١٧٧ \times ١٠^{-١١}$ م

زمن بلانك = ٥×١٠^{-٤٤} ثانية

طول بلانك = $١,٦١٦ \times ١٠$ م $^{-٣٥}$ م

<u>أهم الرموز المستخدمة فى الترجمة العلمية:</u>

ث = كثافة الكون (كمية المادة فى وحدة الحجوم منه)

$ع_{زف ب}$ = العزم الزاوى لخلفية الأشعة فوق البنفسجية.

س = سرعة الضوء فى الفراغ.

ذ = سعة الذبذبة.

$ث_{ح}$ = الكثافة الحرجة.

ن = الزمن

م(ن) = معامل مقياس الزمن أو معامل المقياس الكونى =

$$\frac{\text{الطول الموجى كما يصلنا الآن } ل_{ح}}{\text{الطول الموجى وقت الانبعاث } ل_{ع}} = ١+ز$$

(حيث ز = معامل انزياح خطوط الطيف نحو الأحمر)

١ / ث = العدد الكونى (نسبة الفوتونات إلى الباريونات).

د = درجة الحرارة المطلقة.

بو = ثابت بولتزمان.

ء = عجلة الجاذبية.

$ن_{ء}$ = زمن السوط الحر.

$ن_{ب}$ = زمن الابتراد.

$د_{غ}$ = درجة حرارة الغاز.

$ك_{ش}$ = كتلة الشمس (وتساوى $١,٩٨٩ \times ١٠^{٣٠}$ كجم).

ك ح = الكتلة الحرجة.

نق ح = نصف القطر الحرج.

د ق = درجة الحرارة المقومة.

ن هـ = زمن هابل.

ج = ثابت الجاذبية العام.

ى = معامل كثافة الكون.

هـ ٥٠ = ثابت هابل طبقا لوحدات ٥٠ كم / ث لكل ميجا بارسك.

ك أ = كتلة الإلكترون.

ك ب = كتلة البروتون.

ك و = كتلة الومب.

σ = ثابت سيتفان بولتزمان.

ن ع = زمن عودة الاندماج.

ى ب = النسبة التى تسهم بها المادة الباريونية فى المعامل ى

ب = معامل الانحياز.

أ = الثابت الكونى.

ط ف = طاقة الفوتون.

ع ز = العزم الزاوى.

م ع ز = معامل العزم الزاوى.

ط ج = الطاقة الجذبوية الرابطة.

ن س = مقياس سالبيتر الزمنى.

م ط = معامل التباطؤ.

ل د لمعان إيدنجتون.

نق ث نصف قطر كرة التأثير (الثقب الأسود).

ع ش تشتت السرعة النمطى.

نق ح نصف قطر الثقب الأسود الجذبوى.

ز معامل انزياح خطوط الطيف نحو الأحمر.

نق م	نصف القطر المذى.
ع ق	السرعة التقويمية.
ى يد	نسبة مساهمة الهيدروجين المحايد فى المعامل (ى).
ن ك	زمن كومتون للتبريد.

المترجم

د / عاطف يوسف محمود

الباب الأول

الإطار الكوني

١ – ١ ما موضع المنظومة الشمسية من الكون:

إن الجاذبية، تلك القوة التي يتعذر علينا أن نلمسها على المستوى المعملي بين جسمين، هي القوة المهيمنة في الفلك والكونيات. والمكونات الأساسية في محيطنا الكوني – النجوم، والمجرات والعناقيد المجرية – تتضمن جميعها توازنا بين قوى التجاذب من ناحية وبين التأثير الطارد الذي يحدثه الضغط أو الطاقة الحركية من ناحية أخرى. وربما أبدى ذلك الجزء الذي يمكننا رصده من مجمل الكون، توازنا مماثلا. فالتمدد الكوني الذي قال به هابل(*) آخذ في التباطؤ (وربما انتهى في خاتمة المطاف إلى انكباح ثم إلى توقف كامل)، بسبب التأثير الجذبوي لمجمل كتلته وطاقته.

ونحن أقرب إلى فهم التركيبات الكونية الأبسط والأصغر حجما... وهي النجوم المنفردة. فمن الناحية النظرية بمقدورنا التنبؤ بمكونات النجوم، وبدورات حياتها، واختبار ذلك تجريبيا عن طريق رصدنا الحشود النجمية الضخمة ذات الأعمار المختلفة في مجرة الطريق اللبني(**). ويمكن النظر إلى مجرة الطريق اللبني، تلك المجرة القرصية التي تنتمي إليها الشمس، باعتبارها نوعا من منظومة

(*) في عام ١٩٢٩ أوضح إدوين هابل (١٨٨٩– ١٩٥٣)، من خلال تلسكوبه بكاليفورنيا أن الكون أخذ في التمدد وأن المجرات تتباعد. ويعرف المعامل الذي يربط ما بين سرعة تباعد المجرات والمسافة التي تفصلها عنا بثابت هابل (هـ) ويزداد معدل تباعد المجرات بازدياد بعدها عنا. (المترجم)

(**) مجرة الطريق اللبني Milky way أو مجرة درب التبانة، هي المجرة التي تنتمي إليها مجموعتنا الشمسية وبها نحو ٤٠٠ ألف مليون نجم أو أكثر. (المترجم)

حيوية، حيث يستمر فيها – وبلا انقطاع – مولد نجوم جدد وهلاك أخرى، فيما يعاد تدوير ما تحتويه من غازات وإثراؤها كيميائيا مع استدامة حركة تطورها.

وتمثل مجرتنا نمطا مألوفا من المجرات الموزعة عبر الكون، تلك المجرات التى هى أكثر ملامح المشهد الكونى جلاءً. لماذا كان لزاما أن يكتظ الكون بهذه التجمعات الهائلة من النجوم والغاز، التى يبلغ متوسط عرضها – نمطيا – نحو ١٠ ^{٥} سنة ضوئية(*)، وتضم زهاء ١٠ ^{١١} نجم؟ ليس لدينا حتى الآن ذلك التبرير الفيزيائى الدامغ للخواص التى تميز المجرات، مثل ذلك التبرير الذى نملكه فيما يخص النجوم.

إن أحد الأسباب التى تجعل المجرات أكثر استعصاءً على الفهم من النجوم، هو أن تشكلها يمثل انتهاكًا لقوانين الكونيات. فالنجوم المنفردة تتكون، وتتطور ثم تموت بمعزل عن التطور فى الكون بدرجة أو بأخرى. ولم تخلف الظروف الكونية الابتدائية أية إلماعات أو آثار عن ديناميكيات الغاز المعقدة التى تجرى داخل كل مجرة، لكن هذا ليس صحيحا بالنسبة للمجرات التى لعلها برزت للوجود فى حقبة من الزمان كان فيها الكون برمته أكثر كثافة، وربما مختلفا كثيرًا عن عدم التجانس الذى كان هو طابع الكون فى أطواره الأكثر تبكيرا.

١ـ٢ إلى أى مدى يصل التجانس فى تركيب الكون على المقياس الكونى

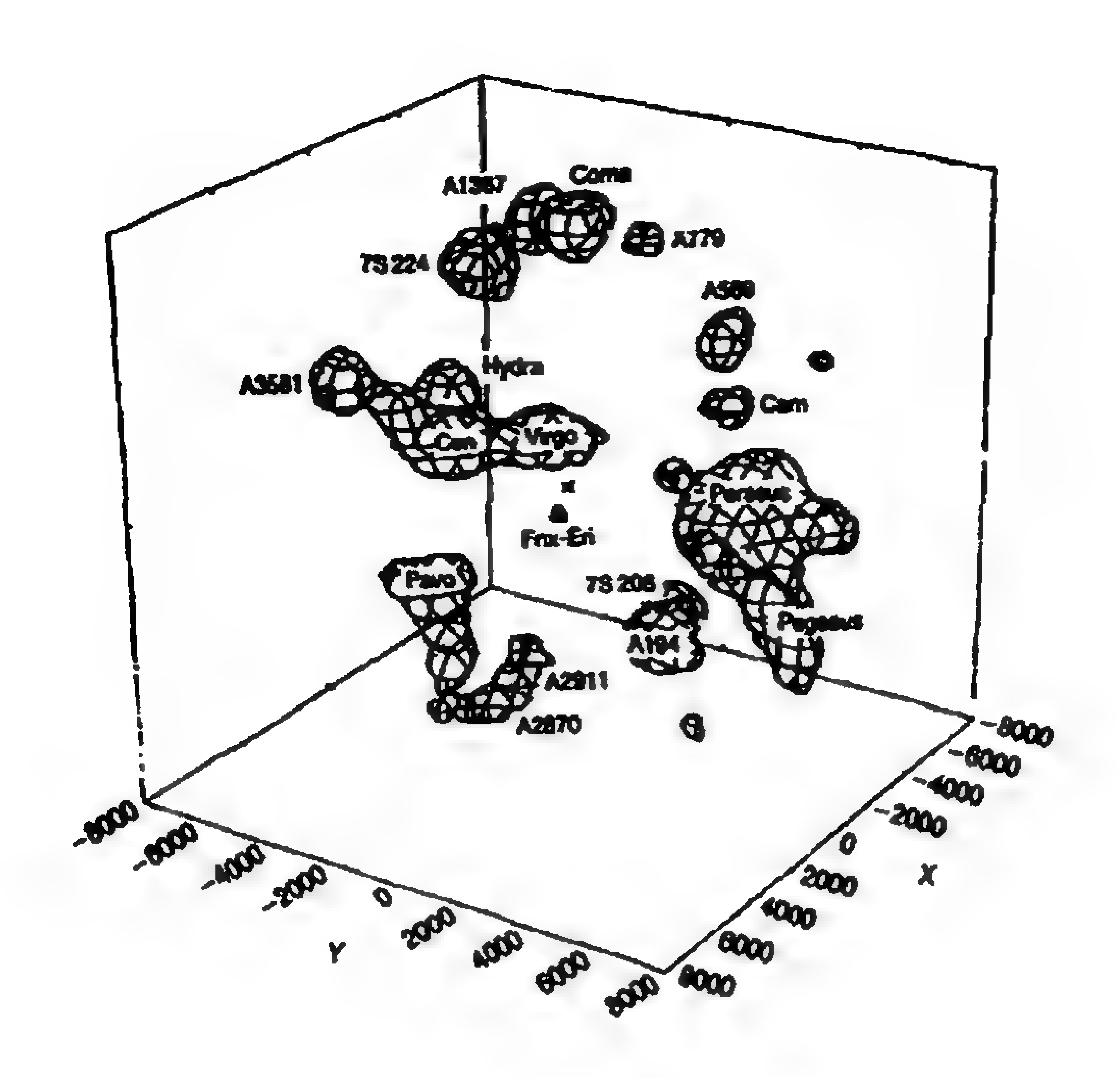
تعد المجرات برمتها – من منظور عالم الكونيات – أكثر قليلا من مجرد نقاط من الضوء، تشير إلى كيفية توزع المادة فى أرجاء الكون وكيفية حركتها. وتتجمع المجرات فى عناقيد.. بعضها فى مجموعات صغيرة (كمجموعة مجرتنا

(*) السنة الضوئية هى وحدة طول تساوى المسافة التى يقطعها الضوء بسرعته فى الفراغ خلال سنة كاملة وتعادل حوالى ٦ مليون مليون ميل أو نحو ١٠ مليون مليون كيلومتر تقريبا. (المترجم)

نحن المحلية، حيث تمثل مجرتنا درب اللبانة، ومجرة أندروميدا(*) العضوين المسيطرين)، فى حين تتجمع مجرات أخرى فى عناقيد ضخمة تضم مئات الأفراد. وعلاوة على ذلك، تتجمع العناقيد المجرية بدورها فى تجمهر فوق عنقودى يأخذ شكل شريحة أو صفيحة رقيقة. وقد تحقق تقدم عظيم فى السنوات الأخيرة فى دراسة وتقييم توزيع المجرات بعرض السماء، وكذلك فى رسم خرائط لتكويناتها فى ثلاثة أبعاد، ولقد استلزمت المهمة الأخيرة تحديد مقدار الانزياح فى الأطياف ناحية الأحمر(**)، والمسافات التى تفصلنا عن آلاف المجرات.

(*) مجرة أندروميدا: أو مجرة المرأة المسلسلة أقرب مجرات السماء لمجرتنا، وتفصل بينهما نحو ٢ مليون سنة ضوئية (المترجم)

(**) الانزياح ناحية الأحمر (Redshift) ظاهرة تلاحظ فى أطياف الأجرام التى تتحرك متباعدة عنا ويمكن عن طريقها تحديد سرعة هذا التباعد. (المترجم)



(شكل ١) أكثر العناقيد وما فوق العناقيد جلاءً داخل مكعب طول ضلعه حوالى٣ × ١٠ ^ سنوات ضوئية (١٠ ^ بارسك(*)) مركزه مجرتنا المحلية. وهناك بطبيعة الحال الكثير من المجرات ذات توزيع أكثر انتظاما فى الفراغات بين التجمعات المبينة. ويبلغ البعد الطولى فى النطاق الذى يصوره الشكل زهاء ٢% من حيز الجزء من الكون الذى بمقدور أرصادنا البصرية الوصول إليه. ربما كان هذا المكعب من الكبر بحيث يعطى عينة تمثل محتويات الكون تمثيلا عادلا وعلى مقياس أكبر ينخفض مدى (أو سعة) عدم التجانس كثيرا عن الواحد الصحيح. المصدر: م.ج هدسون ١٩٩٣، الجمعية الفلكية الملكية، العدد ٢٦٥، ص ٤٣ – شكل ١٠.

(*) البارسك: وحدة مسافة تعادل ٢٦و ٣ سنة ضوئية، أو نحو ٣٠ مليون مليون كيلو متر. (المترجم)

ويوضح الشكل رقم (١) التجمعات الرئيسية من المجرات فى موضعنا المحلى من الكون، والذى يمتد لمسافة نحو ٣ × ١٠ ^٨ سنوات ضوئية. وتتوزع المجرات بصورة أكثر انتظاما فى أجواز السماء لدى المسافات الأبعد من ذلك، فما من دليل على أن التفاوتات الضخمة فى الكثافة تمتد لدى المسافات الأبعد. ولعل الحيز الذى يمثله الشكل (١) – بناءً على ذلك – من الكبر بحيث يعطى عينة تصور محتويات الكون على نحو عادل أصدق تصوير.

ليس لكوننا بالتأكيد وحدة بنائية بسيطة، تتراكم فيها عناقيد مجرية فوق عناقيد فوق عناقيد... وهكذا إلى مالا نهاية. فهناك بالقطع حد أعلى للمقياس الذى يمكن عنده رصد عدم تجانس واضح، وتفاوت كبير فى الكثافة. وأضخم التكوينات التى يبلغ فيها التفاوت فى الكثافـــة $\frac{\Delta ث}{ث}$ (*) الواحد الصحيح تقريبا أو يتجاوزه تمتد إلى ١ فى المائة من قطر هابل(**)، والانحراف النمطى عند هذا المعدل من التجانس يصل لنحو ٣,٠%.

ويُعبَّر عن التفاوتات الطولية النمطية نتيجة وجود العناقيد المجرية، وما فوق العناقيد فى صورة معامل غير ذى أبعاد (Dimensionless form)، باعتبارها طاقة جاذبية لكــل وحدة كتلة، ناجمة عن زيادة فى الكثافـــة، يعبر عنهـا بوحدات س٢ (***) (مربع سرعة الضــوء)[٣]. ولهذه الاضطرابات سعة ذبذبة (ذ) من الرتبة ١٠ ^-٥ وسرعة تباعد المجرات (أو تدفق هابــل Hubble flow كما

(*) $\frac{\Delta ث}{ث}$:يمثل المقام ث فى هذا الكسر متوسط كثافة الكون (مقدار المادة فى وحدة الحجوم منه) ويمثل البسط Δ ث مقدار التفاوت فى هذه الكثافة. فالكسر ككل يعبر عن التفاوت النسبى فى الكثافة. (المترجم)

(**) نصف قطر هابل: هو نصف قطر الجزء من الكون الذى بمقدورنا رصده، أو هو المسافة التى تصل عندها سرعة تباعد المجرات – نظريا – لسرعة الضوء. وقيمة نصف قطر هابل تساوى ١٠ ^٢٢ سنتيمترات. (المترجم)

(***) ترمز (س) هنا إلى سرعة الضوء فى الفراغ والبالغة ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر فى الثانية تقريبا. (المترجم)

يطلق عليه) الذى تحدثه هذه التكوينات لا يصل – كنمط عام – إلى ألف كيلو متر فى الثانية حيث إنها تساوى ($\sqrt{ذ.س}$)(*). والكتلة المكافئة لطاقة الحركة المصاحبة لهذه الحركات غير المألوفة (كما تسمى) (**) تكون فحسب ١٠ $^{-٥}$ من الكتلة وهى فى حالة سكون وهذه القيمة ذ= ١٠ $^{-٥}$ (وهى مقياس للتفاوتات الطولية فى كوننا)، ذات أهمية ستبرز فيما سيلى من الكتاب. ويعنى صغر هذه القيمة أن عدم التجانس الراهن فى الكون بسبب وجود العناقيد وما فوق العناقيد فى مواضع بعينها، من الضآلة بحيث يتيح لنا أن نطبق – دونما خطأ يذكر – قوانين الجاذبية لنيوتن، والأمر الأكثر أهمية.. أن صغره يبرر ملاءمة النماذج النظرية البسيطة التى تفترض كونا متجانسا فى كل الاتجاهات. وتعود تلك النماذج إلى العشرينيات من القرن العشرين.

ولقد عثر فريدمان(**) على النماذج الأولى التى تتمشى مع نظرية النسبية فيما يختص بكون متجانس آخذ فى التمدد قبل أن يكتشف هابل تراجع السدم. إن عمل هابل الذى بين فيه أن الكون لا يشابه النموذج الاستاتيكى(***) الذى كان

(*) يقصد بالحركات غير المألوفة Peculiar motions تحديدا هنا: تحركات المجرات الإهليلجية التى لا تخضع لقانون هابل من حيث تناسب بعد المجرة مع سرعة تباعدها عنا. (المترجم)

(**) فى عامى ١٩٢٢، ١٩٢٤ نشر عالم الأرصاد الروسى ألكسندر فريدمان نماذجه النظرية لتطور الكون على أساس كثافة مادته وقسمها للآتى:

أ- إذا زادت كثافة المادة بالكون عن الكثافة الحرجة (والتى تقدر فى ضوء الأرصاد الحالية بزهاء ٨× ١٠ – ٣٠ جرام لكل سنتيمتر مكعب، فالكون (مغلق) ذو سطح محدود من جميع الاتجاهات كروى الشكل وإن لم يكن له حواف، به عدد محدود من المجرات وقد بدأ من حيز صفرى لدى الانفجار العظيم، ومع التمدد يصل إلى حد أقصى ثم يتقلص إلى حيز صفرى مرة ثانية (استكشف فريدمان هذه الحالة عام ١٩٢٤).

ب- إذا قلت كثافة مادة الكون عن الحد الحرج فإنه يكون كونا مفتوحا يبدأ بانفجار عظيم، لكنه يتمدد إلى مالا نهاية وبه عدد غير محدود من المجرات (استكشف فريدمان هذه الحالة عام ١٩٢٧).

ج- هناك حالة ثالثة وسط عند تساوى كثافة الكون مع الكثافة الحرجة فيكون الكون فى هذه الحالة مسطحا ويحوى عددا لانهائيا من المجرات ويتمدد أيضا لما لانهاية. (أضاف هوارد روبرتسون من برنستون هذه الحالة الوسط عام ١٩٢٩). (المترجم)

(***) المسافات بين المجرات فى نموذج آينشتاين الاستاتيكى ثابتة لا تتغير، وهو ما ثبت خطؤه فيما بعد. (المترجم)

آينشتاين قد اقترحه من قبل، قد حض على دراسات تالية فى علم الكونيات قام بها لومتر، وتولمان وغيرهما، استنادا إلى نظرية النسبية. غير أن البيانات كانت حينذاك – وظلت لعقود طويلة بعدها – شديدة التشتت والتبعثر، بحيث لم تتمّ عما إذا كان أىّ من هذه النماذج – التى تنسب لها صفة المثالية – تلائم الكون الواقعى، ومن ثم فقد تعذرت المفاضلة بينها.

١ـ ٣ الأجرام ذات الانزياح الطيفى العالى صوب الأحمر:

طرح عمل هابل فكرة أن المجرات كانت – فيما مضى – مكدسة فوق بعضها– وأنها برزت للوجود من خلال "بداية" من نوع ما. بيد أنه لم يكن لديه دليل مباشر فيما يختص بالتطور الكونى، وإن كانت نظرية الحالة المستقرة[٣] Steady state Theory[*] التى طرحت عام ١٩٤٨ تمثل بديلا لنظرية الانفجار العظيم big bang [**] يمكن الدفاع عنه وتصور خلقا متواصلا لمادة جديدة ومجرات جديدة، بحيث لا يتبدل المشهد الكونى على الإطلاق– رغم تمدده.

ولتمحيص أى دراسة عن تطور للكون، ينبغى أن يسبر المرء الأشياء الموغلة فى البعد، حيث إن الضوء بدأ فى الانبثاق منها عندما كان الكون فى مراحله المبكرة وأصغر بكثير من عمره الآن. ويستوجب هذا دراسة الأجرام التى تبعد ببلايين السنين الضوئية ذات الانزياح الملموس لطيفها صوب الأحمر. لقد تم

(*) نظرية الحالة الثابتة أو المستقرة: Steady state theory تنص على أن هناك مادة جديدة تتخلق وتتشكل باستمرار مع تمدد الكون بحيث يبقى مبدأ (الكون المثالى). اعتبرت هذه النظرية بديلا لنظرية الانفجار العظيم ولكن تناقص عدد المؤيدين لها باكتشاف إشعاع الخلفية الكونية الميكروويفية. وضع هذه النظرية عام ١٩٤٨ العالمان النمساويان هيرمان بوندى وتوماس جولد والعالم البريطانى فريد هويل. (المترجم)

(**) النظرية الانفجارية أو الانفجار العظيم big bang: مؤداها أن مادة للكون كانت فى الأصل مركزة تركيزا شديدا، ثم لسبب ما حدث منذ نحو ١٣ بليون سنة انفجار شديد أدى إلى تناثر المادة فى جميع أرجاء الكون. (المترجم)

تطبيق برنامج لقياس مقدار التباطؤ فى تمدد الكون منذ خمسينيات القرن العشرين فصاعدا عن طريق مرقاب (تلسكوب) بالومار(٤) ذى المائتى بوصة قطرا. بيد أن النتائج لم تكن حاسمة، ويرجع هذا جزئيا إلى أن المجرات السوية ليست باللمعان الذى يسمح بقياس انزياح كبير صوب الأحمر كبرا كافيا. وقد كان رايل Ryle(*) وزملاؤه من علماء الفلك الراديوى هم الذين وجدوا – فى نهايات خمسينيات القرن العشرين– أول دليل حقيقى على أن الكون آخذ حقا فى التطور. وبوسع المراقب الراديوية أن تلتقط الانبعاثات من بعض المجرات النشطة غير المعتادة (والتى يعتقد حاليا أنها تحتضن فى مراكزها ثقوبا سوداء هائلة(**)) حتى ولو كانت من البعد بحيث لا يمكن رؤيتها من خلال التلسكوبات الضوئية. ولا يمكن للمرء أن يحدد مقدار الانزياح نحو الأحمر أو المسافات التى تفصلنا عن هذه المصادر عن طريق القياسات فقط، ولكن رايل افترض– من الناحية الإحصائية على الأقل– أن تلك التى تبدو خافتة تقع على مسافات أبعد من تلك التى تبدو كثيفة، ولقد احتسب "رايل" الأرقام، آخذا فى الاعتبار كثافات ظاهرية متنوعة، ووجد أن هناك الكثير جدا من المجرات (وبعبارة أخرى المصادر) التى على أبعاد سحيقة والتى تبدو ظاهريا خافتة مقارنة بعدد المصادر الأكثر بريقا والأدنى منا. كان هذا الأمر مزعجا بالنسبة لمناصرى نظرية الحالة الثابتة أو المستقرة ولكنه كان متوافقا مع تطور الكون، ما دامت المجرات كانت أكثر عرضة لأن تنتابها انفجارات عنيفة فى الماضى السحيق، حينما كانت – بعد – فى طور الشباب. إن ما تبع ذلك من اكتشاف "نوى المجرات النشطة" أو الكوازارات(***) ذات الانزياحات الطيفية

(*) مارتن Ryle (١٩١٨– ١٩٨٤): فلكى راديوى إنجليزي، ابتدع نظاما ثوريا فى المرقب الراديوى مكنه من رصد المصادر الراديوية الضعيفة. حصل على جائزة نوبل لعام ١٩٧٤. (المترجم)

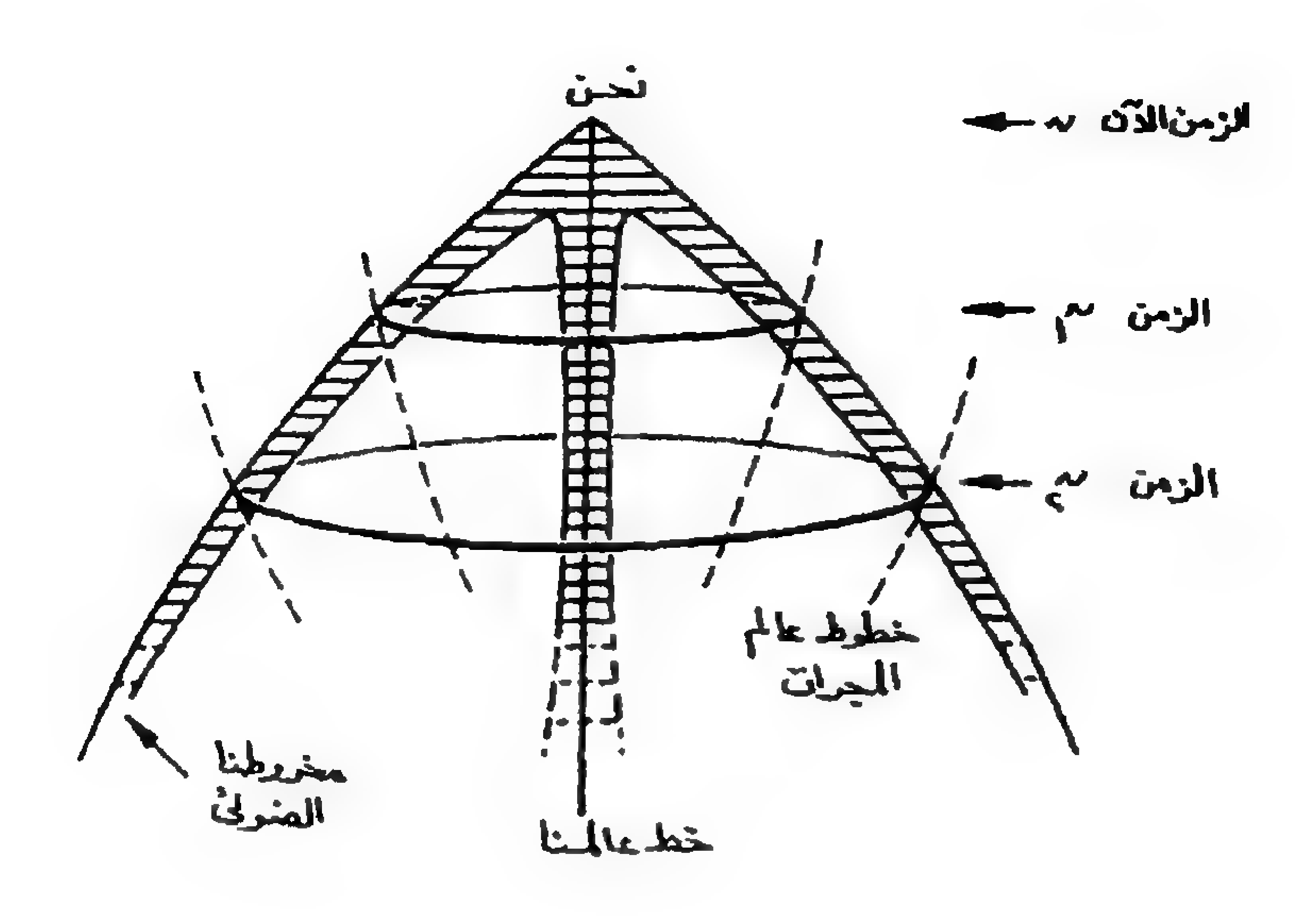
(**) الثقوب السوداء: أجرام فلكية عالية الجاذبية جدا بحيث لا يفلت منها حتى الضوء وبحيث تستحيل رؤيتها. (المترجم)

(***) الكوازار أو شبه النجم: هو جرم سماوى ساطع سطوع النجم، وهو فى الحقيقة مجرة صغيرة كانت موجودة فى الكون المبكر، ولا تشاهد الكوازارات إلا فى تخوم الكون النائية حيث بدأ الضوء رحلته منها إلينا مع نشأة الكون. (المترجم)

الكبيرة نحو الأحمر، قد أقام الدليل على صدق حدسية رايل ودعمها، بيد أننا مازلنا نفتقر بشدة إلى فهم هذه الأجرام وتطورها حتى نستعمل تلك الحدسية فى تحديد البنية الهندسية للكون.

بمقدور علماء الفلك – بالغوص عميقا فى أجواز الفضاء– أن يدرسوا تلك المناطق من الكون التى انبعث منها الضوء منذ أبد بعيد. ولو أننا كنا نحيا فى كون موحش، مفرط فى عدم تجانسه لما كان هناك وجه للتساؤل عما إذا كانت هذه الأصقاع القصية (والطريقة التى قد تطورت بها) تحمل أى تشابه لموقعنا نحن المحلى من الكون. على أية حال، وبقدر معارفنا الآن، فإن هذا الكون الذى ألفينا أنفسنا نحيا فيه (أو على أقل تقدير الجزء من الكون الذى يسعنا أن تصل إليه أرصادنا)، جد منتظم ومتجانس، وبمقدورنا تطبيق القوانين الكينماتيكية الشاملة عليه، وبمعامل قياس واحد للزمن: م (ن)، فقد تطورت كل الأجزاء بنفس الطريقة، ولها ذات التاريخ (انظر شكل ٢).

وتزودنا هذه البساطة بمبرر نعتقد بموجبه أننا حين نرصد نطاقًا ما من الكون يقع – مثلا – على بعد ٣ بلايين سنة ضوئية فإن ملامحه العامة (مثل الخواص الإحصائية للمجرات، وطبيعة تجمعاتها العنقودية، إلخ) تشبه تلك التى كانت تبدو منذ ٣ بليون سنة فى ذات موقعنا المحلى (أى فى نفس النطاق الذى يصوره شكل رقم ١).



شكل (٢)

مخطط بيانى للزمان – المكان (الزمكان)(*) يوضح خط عالم مجرتنا ومخروط ضوء الزمن الماضى. إن النطاقات الوحيدة فى مخطط الزمكان هذا التى لدينا برهان مباشر عليها هى تلك المظللة بالشكل أى التى تقع إما قريبا من خط عالمنا الواقعى (بالاستدلال من التاريخ الكيميائى والديناميكى لمجرتنا، والأدلة الجيولوجية وما إلى ذلك) وإما بامتداد مخروط الماضى بالنسبة لنا (بالأدلة الفلكية). وبسبب التجانس الشامل فقط يمكننا أن نفترض – عن ثقة – أية مشابهة بين

(*) نُحت لفظ "الزمكان" من كلمتى الزمان والمكان ككلمة تعبر عن مدلولهما معا، باعتبار الزمان بعدا رابعا يضاف إلى الأبعاد المكانية الثلاثة المعتادة. (المترجم)

المجرات القاصية (والتى يصلنا الآن ضوؤها) وبين التاريخ الباكر لمجرتنا نحن. بوسعنا- فى الأكوان المتجانسة أن نعرّف نفس المقاييس الطبيعية للزمن، بحيث تتشابه جميع أرجاء الكون ويكون لها جميعا قيمة بعينها للزمن (ن).

يحظى الفلكيون بميزة تميزهم عن الجيولوجيين، إذ بوسعهم رصد الماضى مباشرة. ولقد سجل تقدم مشهود فى تقنيات سبر الأجرام الخافتة والموغلة فى البعد، وتحقق أول تقدم عندما حلت المجسات الصلبة CCDsolid state detectors محل الألواح الفوتوغرافية، فحساسية الأولى تزيد بأكثر من خمسين مرة على حساسية الثانية فيما يختص بقياس الأطوال الموجبة المرئية وتلك القريبة من المنطقة تحت الحمراء. ولقد عزز ظهور الجيل الجديد من التلسكوبات بمراياها ذات العشرة أمتار قطرا، من قدرات الفلكيين فى دراسة الضوء الآتى من الأجرام الخافتة (استكمل العمل فى مرقابى كيك Keck بهاواى(*)، كما يجرى بناء عدة تلسكوبات أخرى فى الوقت الراهن.

تظهر أكثر المجرات خفوتا وبعدا بعرض يصل نمطيا إلى ١ إلى ٣ ثوان قوسية(**)، وتبدو أوضح قليلا من مجرد لطخ أو بقع غبشاء عندما تشاهد من على الأرض، لأن التقلبات الجوية تلطخ حتى المصدر - وهو مجرد نقطة - عبر كسر محسوس من الثانية القوسية. غير أن مرقاب هابل الفضائى(***) - بعد أن عدلت عدساته الضوئية عام ١٩٩٤ - قد أعطى صورا أكثر وضوحا. ولقد تم العثور على صـــورة مفــردة مذهلة فى روعتها (أطلق عليها مجال هابل العميق(****)

(*) مراقبا كيك Keck: يقع مرصد كيك الفلكى قرب قمة جبل ماوناكيا فى هاواى على ارتفاع ٤١٤٥ مترا، وبالمرصد مرقابان تم بناؤهما عامى ١٩٩٣، ١٩٩٦ على التوالى. ومرآة كل منهما يبلغ قطرها ١٠ أمتار مما يجعلهما أكبر مرقابين بصريين فى العالم. (المترجم)

(**) الثانية القوسية هى زاوية تساوى جزءًا من ٣٦٠٠ جزء تقسم لها الدرجة الستينية الواحدة. (المترجم)

(***) تلسكوب هابل الفضائى: Hubble space telescope: مرقاب أطلق فى أبريل ١٩٩٠ بالتعاون ما بين وكالة ناسا ووكالة الفضاء الأوروبية. (المترجم)

(****) مجال هابل العميق: صورة لمنطقة محدودة من الفضاء تحتوى على نحو عشرة آلاف مجرة، رصدها تلسكوب هابل الفضائى وجمع بيانات عنها ما بين ٢٠٠٣/٩/٢٤=

(Hubble Deep Field) بتوجيه المرقاب لفترة تربو على الأسبوع شطر نفس الرقعة من السماء [٥أ].

وتستكشف الأرصاد ذات هذا المستوى العالى من الحساسية عدة مئات من المجرات ذات تنوع واسع من حيث البنى والتراكيب، ضمن بقعة تصل سعتها على دقيقة قوسية مربعة. لقد قيست الانزياحات صوب الأحمر للكثير من هذه المجرات باستخدام تلسكوب (كيك) [٥ب]. وفى كثير من الأحوال تزداد أطوال الموجات ما بين انبعاثها ($ل_ع$) وبين استقبالها الآن ($ل_ن$). والمعامل بين الطولين $ل_ن$: $ل_ع$ يسمى بمعامل المقياس الكونى[٥] (م) Cosmic scale factor[*] وهو يزيد على القيمة (٤)، ويساوى ١+ز، حيث ز هو معامل انزياح الطيف صوب الأحمر Redshift.

وتنزاح حافة الامتصاص عند (حد ليمان) Lyman limit[**] (ومقداره: ٩١٢ إنجستروم) [***] ناحية النطاق المرئى، وهى حقا الملمح البارز فى الطيف. لقد اكتشفت نماذج أكبر لمجرات ذات انزياح كبير صوب الأحمر باستخدام هذا

=٢٠٠٤/١/١٦، حيث تجمعت فى هذه الصورة صور مجرات ذات أعمار وأشكال وألوان وأحجام متباينة. فبعض المجرات تعود إلى زمن موغل فى القدم، إذ تشكلت عقب الانفجار العظيم (قبل نحو ١٣ بليون عام)، بنحو ٤٠٠ إلى ٨٠٠ مليون عام. (المترجم)

(*) معامل المقياس الكونى م= ل ن (الطول الموجى كما نرصده الآن) ÷ ل ع (الطول الموجى عند الانبعاث) ويساوى ١+ز، حيث ز هو معامل انزياح الطيف صوب الأحمر Redshift: ز= (ل ن – ل ع) ÷ ل ع وهو دالة فى الزمن تمثل التمدد النسبى فى الكون. يمكن اتخاذ المقياس (م) للتعبير – بصورة تقريبية للغاية– عن حيز الكون، وبالتالى عن تغير كثافة مادة الكون. (المترجم)

(**) حد ليمان فى الفيزياء يناظر الطاقة اللازمة لكى ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من الحالة الأرضية ليهرب من حاجز الجهد الكهربى، وينتج الأيون. وهذه الطاقة تكافئ ١و١× ١٠ ٧ م – ١ (ثابت ريدبرج). ويمكن تعريف حد ليمان بأنه نهاية نطاق الطول الموجى القصير فى (سلسلة ليمان) واصطلح على أن مقداره ٢و٩١ نانومتر. وسلسلة ليمان هى متسلسلة رياضية بين طول الموجة فى طيف الانبعاث أو الامتصاص للهيدروجين الذرى وسميت باسم مكتشفها وخط ألفا ليمان هو أول خط انبعاث وأكثر الخطوط وضوحا. (المترجم)

(***) الإنجستروم: وحدة طول تساوى ١٠ – ٨ سنتيمتر. (المترجم)

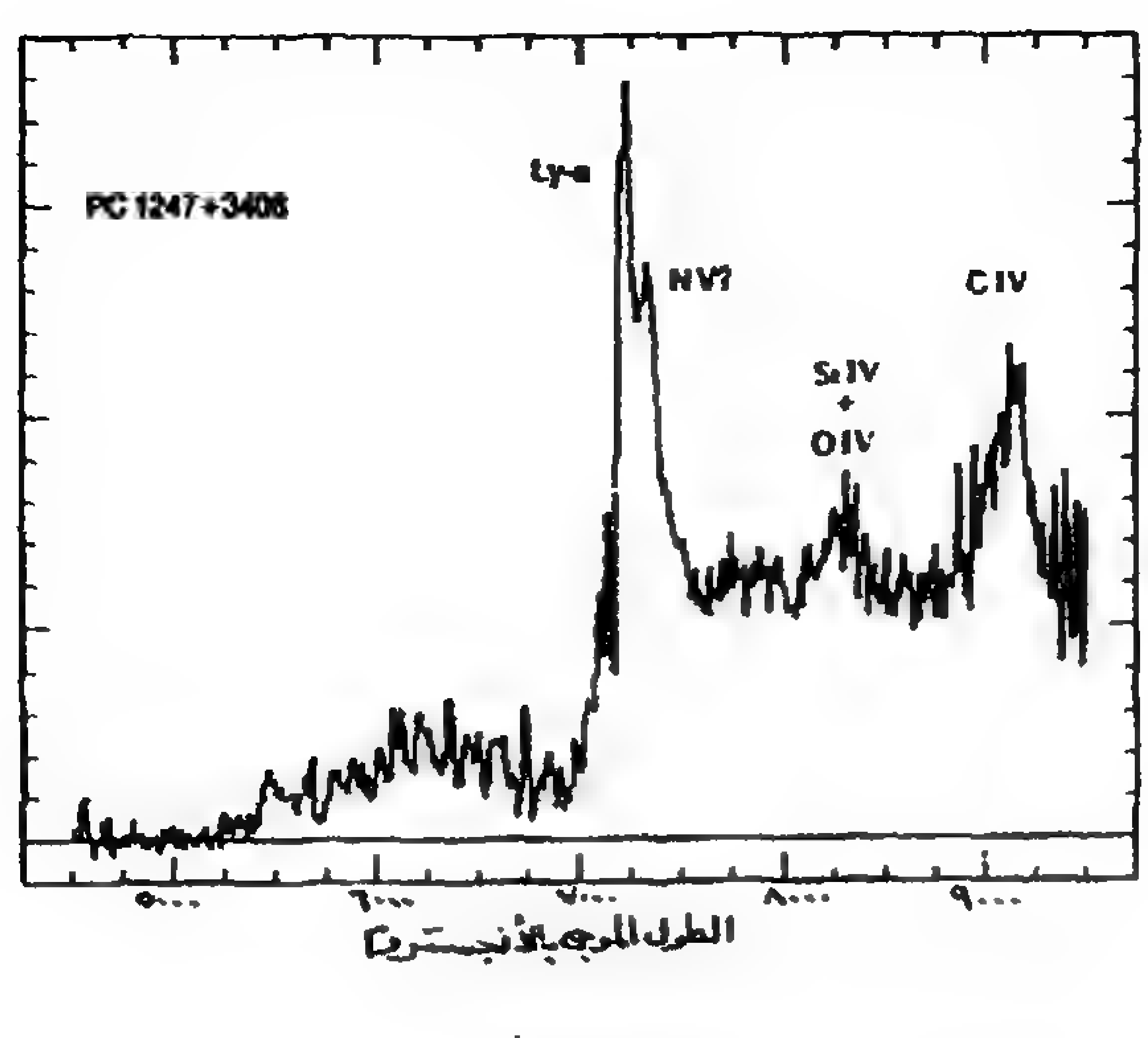
الملمح الطيفى المميز (منزاحة صوب الجانب الأزرق من الطيف المرئى) بوصفها علاقة دالة على وجود مجرات.

لقد انبثق الضوء من هذه المجرات القصية عندما كان الكون مازال فتيا عما هو الآن. ونحن نرصدها فى مرحلة كانت فيها حديثة التكون، وليس بمدعاة للعجب أن نجدها جد مختلفة عن المنظومات الأقرب لنا. لقد تحقق تقدم مذهل – منذ نهاية تسعينيات القرن العشرين – فى رصد المجرات ذات الانزياح الهائل صوب الأحمر. وليس رصد الأجرام ذات انزياح أحمر كبير – فى حد ذاته – بالجديد، فالكوازارات (أشباه النجوم)، وغيرها من النوى المجرية النشطة (وعلى سبيل المثال المصادر الراديوية ذات الشدة العالية) والمراكز ذات النشاط الزائد لمجموعة فرعية خاصة من المجرات، يزيد لمعانها عن كل ما تحتويه المجرة الأم من نجوم بمعامل قد يصل إلى عدة آلاف، وهى من التألق بحيث يمكن لتلسكوب متوسط الحجم أن يلتقط أطيافها ذات النقاء العالى. وكمثال مبكر على الكوازارات ذات الإزاحة العالية نحو الأحمر: الكوازار PC 1247+3406(*) ذو المعامل ز = ٤,٨٩، والذى يوضح شكل ٣ طيفه: ويشاهد الخط (ألفا ليمان) (**) (١٢١٦ إنجستروم) فى المنطقة الحمراء عند طول موجى ٧٢٠٠ إنجستروم تقريبا.

ولتقدير عمر نسبى للكون – عندئذ والآن – يحتاج المرء لمعرفة ديناميكيات عملية التمدد، وبصفة خاصة، إلى أى مدى وصل تباطؤها. وإذا لم يكن هناك تباطؤ على الإطلاق فإن من شأن الكون أن يكون أصغر عمرا عندما انبثق الضوء بمعامل ١ + ز يساوى ٥,٨٩.

(*) هو شبه نجم اكتشف عام ١٩٩١. (المترجم)

(**) خط ألف ليمان: متسلسلة ليمان عموما هى فئة من الموجات فوق البنفسجية يمتصها الهيدروجين الذرى والخط ألفا ليمان هو أشد الخطوط وأكثرها وضوحا ويظهر بطول موجى= ١٢١٦ إنجستروم ويناظر ذبذبة ترددها ٢,٤٧ × ١٠ ١٥ هيرتز.(المترجم)



شكل (٣)

منحنى الطيف الخاص بشبيه النجم (الكوازار) (PC 1247+3406) ذى معامل انزياح صوب الأحمر (ز) = ٤,٨٩. لقد بدأ الضوء المنبعث من هذا الجرم رحلته إلينا عندما كان معامل المقياس الكونى (م) أصغر من قيمته الآن بمقدار ١+ز أى ٥,٨٩ مرة. وطبقا لنموذج آينشتاين – دى سيتر فلا بد وأن عمر الكون وقتئذ كان ٧٪ من عمره الحالى. (منقولة عن شنايدر دى بى، شميدث إم، جن جى إى، ١٩٩١ المجلة الفلكية – العدد ١٠٢ – ص ٨٣٧).

وعلى أية حال، فتمدد الكون – طبقا لنماذج فريدمان – فى تباطؤ. وفى كونيات آينشتاين– دى سيتر(*) الجذابة نظريا، يتناسب معامل قياس الزمن الكونى (م) مع الزمن مرفوعا للأس ٢/٣ (م تتناسب مع ن ٢/٣).

(*) نموذج آينشتاين – دى سيتر Einstein- de sitter model: هو نموذج نظرى كونى يفترض كونا متجانسا فى جميع الاتجاهات ثابته الكونى يساوى صفرا. (المترجم)

فالضوء الذى يصلنا الآن من الكوازار (PC1247+3406) طبقا للنموذج، ينبغى أن يكون قد انبثق عندما كان الكون أصغر بمعامل = (٥,٨٩) $^{٣/٢}$. وهكذا بوسع الفلكيين أن يسبروا آخر ٩٠٪ من تاريخ الكون. يخبرنا وجود هذه الكـوازارات أنه عندما كان عمر الكون $١٠^{٩}$ سنة كانت بعض المجرات المسنة (أو على الأقل مناطقها الداخلية)، قد تشكلت سلفا، وأن أحداثا خاطفة فى مراكزها قد أدت إلى تلك النوعية المتطرفة من النوى النشطة التى تمثلها ظاهرة الكوازار.

ومن المفترض أن المجرات الأم (الحاضنة) قد تكونت قبل الكوازارات نفسها. وعلاوة على ذلك، إذا كان تكون المجرات قد تسلسل فى نسق هرمى، فمن المفروض أن تتكون المجرات الأصغر (والتى هى أصغر من أن تحتضن مثل هذه الكوازارات القوية) فى مرحلة أكثر تبكيرا. وعلى ذلك فالشواهد جد قوية على أن نتوقع وجود مجرات ذات انزياح ملحوظ نحو الأحمر يتعدى مؤشرها (ز) الرقم (٥). وينبغى أن تكون هذه المجرات – بصفة عامة – شديدة الخفوت، أشد خفوتا من أن نحصل منها على طيف ذى نوعية عالية، حتى باستخدام تلسكوب ذى قطر ١٠ أمتار، على كل حال فقد عثر على بعض الأجرام الخافتة والمشوشة ذات قيمة للمعامل (ز) أكثر من ٥، بعد أن استعمل التكنيك الذى ثبت نجاحه فى العثور على مجرات ذات قيمة ز=٣[٦أ]، مع الانزياح الأكبر صوب الأحمر. والتكنيك الآخر المستخدم فى العثور عليها هو استعمال مصفيات (فلاتر) للأجرام التى يظهر تحليل أطيافها الحمراء مع نسبة تفريق منخفضة خطًا هو فى الواقع خط (ألفاليمان) [٦ب]، مع انزياحه بصورة كبيرة صوب الأحمر. لقد كشفت هذه المحاولات فعلا العديد من المجرات أقصى بعدا من الكوازار PC 1247+3406 .

وفى حالة أو حالتين ساعدت على هذا الكشف الصدفة السعيدة. فهذه المجرات تشاهد طبقا لتأثير العدسة المحدبة gravitationally lensed[*] (انظر

(*) يقصد بتأثير العدسة المحدبة إمكان رؤية هذه المجرة رغم وجود عنقود مجرى يعترض امتداد خط البصر إليها، بسبب انحراف الضوء الصادر منها حول حواف هذا العنقود المجرى وتجمعه حتى يصل لنا وكما سيتم شرحه تفصيلا فى الباب الثانى. يرجى العودة إلى شكل (١١). (المترجم)

الباب الثانى)، حيث يقع عنقود مجرى على امتداد خط البصر إليها [٦ج]. وليس من الواضح ما هو أقصى مدى يمكن أن يصل إليه انزياح طيف مجرة ما نحو الأحمر، فذلك يعتمد على كيفية وتوقيت بدء تكون نجومها، وهو موضوع سيناقش بصورة أوسع فى الباب الخامس.

ويهيئ الضوء القادم من الكوازارات البراقة وسيلة سبر مهمة للأوساط التى تتداخل فيما بيننا وبينها، فخطوط الامتصاص من الطيف إلى الجانب الأزرق من خط. ألفا ليمان) تشير إلى سحب من غاز تقع على امتداد خط الرؤية. ومن المحتمل أن هذا الامتصاص قد تسببت فيه المجرات المبكرة الأولى والتى يشتد خفوتها بحيث لا يمكن مشاهدتها عن طريق انبعاثاتها المباشرة (وحيث لم تنشأ – ربما– نجوم بعد). والعلاقة التى تربط هذا الامتصاص بالانزياح صوب الأحمر تهيئ مفاتيح مهمة للكيفية التى مرت بها مراحل تشكل المجرة. وسيناقش هذا بصورة أوسع فى الباب الخامس.

١– ٤ تاريخ ما قبل المجرات:

ولكن ماذا عن الحقب الزمانية الأكثر تكبيرا، قبل أن تتكون أية مجرات؟ هل حقا برز كل شيء للوجود من بداية كثيفة (وربما مفردة) منذ زهاء ١٠ أو ١٥ بليون سنة خلت؟ إن البرهان الدامغ على ذلك يعود إلى عام ١٩٦٥، عندما نشر بنزياس وويلسون[٧] بحثهما الكلاسيكى الذى يعلن عن استشعار درجة حرارة فوق المعتاد فى الفضاء بين المجرات عند تردد ٤٠٨٠ ميجا سايكل/ ث. فالفضاء هناك ليس مطلق البرودة، لكن له درجة حرارة تصل إلى نحو ٣° على مقياس كلفن. وقد لا يبدو هذا بالمقدار الكبير، على أنه يستدعى وجود حوالى ٤×١٠^٨ فوتون فى كل متر مكعب (ربما بليون فوتون مقابل كل ذرة فى الكون).

لقد أدى اكتشاف خلفية الموجات فائقة الصغر(*) إلى قبول عام لما يطلق عليه فى علم الكونيات "الانفجار الساخن العظيم"، وهو بمثابة تحول فجائى وعنيف فى إجماع علماء الكونيات، مثله مثل تحول آراء الجيوفيزيائيين لمصلحة مفهوم التزحزح القارى والذى حصل فى نفس الوقت تقريبا. ولم تتقبل فكرة الإشعاع الخلفى للموجات فائقة الصغر بقبول حسن إلا على أساس افتراض كونها بقايا لحقبة زمنية كان الكون كله خلالها ساخنا، كثيفا ومعتما. وعلاوة على ذلك كان التجانس الكبير والأصيل فى الإشعاع يعنى أن النماذج الحسابية البسيطة كانت تقريبا أفضل صورة حقيقية للكون.. صورة أفضل من النماذج التى وضعها المنظرون فى عشرينيات وثلاثينيات القرن العشرين. ولقد دعمت القياسات التى أعقبت ذلك لهذه الخلفية والتى أجريت بدقة متزايدة وعلى نطاق أطوال موجية متنوعة هذه الخلاصات والاستنتاجات.

ولقد بات طيف الإشعاع الآن مألوفا – فى المقام الأول بفضل النتائج المشهودة لـــ "ماثر" ومعاونيه، باستخدام تجارب المقياس الطيفى FIRAS (اختصار Far Infrared Absolute Spectrophotometer) على القمر الصناعى COBE. وغدا معروفا أن طيف الإشعاع ينحرف عن إشعاع الجسم الأسود(**) بأقل من جزء من عشرة آلاف جزء. وكانت أكثر درجات الحرارة مواءمة هى ٢,٧٢٦ درجة على مقياس كلفن.

وقد أوضحت القياسات التى أجرتها مجموعات متعددة (٩- ١٢) أن الإشعاع متجانس بصورة جوهرية فى جميع الاتجاهات إلى حد أجزاء قليلة من مائة ألف جزء، وإن كان هناك عدم تجانسات واضحة على المقياس الزاوى تصل ما بين

(*) إشعاع الموجات فائقة الصغر الخلفى microwave background radiation: نوع من الإشعاع الكهرومغناطيسى الذى يملأ الكون، وهو بمثابة بصيص خافت أقصى لمعان له فى نطاق الموجات متناهية الصغر من الطيف الراديوى، تبقى منذ الانفجار العظيم. (المترجم)

(**) الجسم الأسود black body هو الجسم الذى يمتص كامل الإشعاع الساقط عليه دون أن يعكس أى جزء منه (المترجم).

٣,٠ ، ٩٠ من الرتبة $١٠^{-٥}$ (ويحتوى الفصل الثالث على بعض التضمينات الكمية عن ذلك).

وفى المراحل المبكرة ذات الكثافة العالية، لا بد وأن الإشعاع بقى فى حالة اتزان حرارى مع المادة المتناثرة المنبعثة من الإلكترونات الحرة التى لا بد وأن كثافتها كانت مرتفعة ارتفاعا يكفى كى يكون الكون معتما. على أنه عندما بردت المادة بفعل التمدد –إلى ما دون درجة ٣٠٠٠ على المقياس المطلق (عندما كان معامل مقياس الزمن الكونى واحدا من الألف من قيمته الآن) لا بد وأن البلازما الأصلية الابتدائية عادت إلى الاندماج(*)، مخلفة عددا قليلا من الإلكترونات الحرة. ولعل (الضباب) الكونى كان قد انقشع آنئذ، وغدا الكون شفافا، وربما ظل كذلك حتى وقتنا هذا (انظر الباب الخامس). إن فوتونات الموجات فائقة الصغر التى نستشعرها عن طريق التجربة، هى (رُسُل) مباشرة قادمة لنا من حقبة كان انضغاط الكون فيها أكثر من الآن بنحو ألف مرة، وكان قد مضى على بدء تمدد الكون نحو نصف المليون عام. ولكن الفوتونات مازالت فيما حولنا، تملأ الكون. فليس لها من مكان آخر تذهب إليه. ويمثل (العدد الكونى) Cosmic number وهو النسبة بين الفوتونات إلى الباريونات(**) (١/ت) مؤشرا مهما، يبقى ثابتا فى الأساس خلال التمدد الكونى، وبسبب كبر هذه النسبة يشير كثير من المؤلفين إلى الانفجار العظيم بعبارة الحار (الساخن).

(*) البلازما هنا هى حالة المادة فى درجات الحرارة المرتفعة جدا حيث تنفصل النوى عن إلكتروناتها، وإعادة الاندماج تعنى عودة الإلكترونات للنوى ثانية، وقد وقعت عودة الاندماج هذه حسب تقديرات العلماء بعد نحو ٣٠٠٠٠٠ سنة من الانفجار الأعظم. (المترجم)

(**) الباريونات جسيمات دون ذرية تشترك فى التفاعلات القوية وتتألف من ٣ جزيئات افتراضية كل منها له شحنة تساوى ثلث أو ثلثى شحنة الإلكترون وأهم أنواعها البروتونات والنيترونات. (المترجم)

يحمل الكون بالمثل (حفريات) مهمة أخرى عن حقبة كونية أكثر تبكيرا بكثير من عودة الاندماج: وهى العناصر الخفيفة مثل الديتوريوم(*) والهليوم$_3$(**) والهليوم $_4$ والليثيوم $_7$. وفي خلال الدقيقة الأولى من التمدد الكونى حينما كانت درجات الحرارة وفى فوق ١٠ ^{9} كلفن، لا بد وأن التفاعلات النووية قد (صنعت) هذه العناصر، بنسب يمكن حسابها- من البروتونات والنيوترونات. وتتغير كثافة الباريونات فى كون متمدد طبقا للعلاقة د^2 تتناسب مع م$^{-3}$ (مربع درجة الحرارة المطلقة د يتناسب مع مقلوب مكعب مقياس الزمن الكونى م)، ومن ثم فلا بد وأنها كانت أعلى بمقدار (١٠ ^{27}) منها الآن، عندما كانت د= ٣×١٠ ^{9} درجة مطلقة، ولكن حتى وفقا لذلك، فإن الكثافة لا تصل لكثافة الهواء.

لا ينبغى أن يحمل المرء هما بسبب المشاكل المتعلقة بكثافة مادة الكون فطاقات التفاعلات النووية ذات العلاقة أقل من ١ ميجا.إلكترون فولت(***) ولا تتضمن أية استنتاجات غير مؤكدة خارج نطاق التجريب العملى. وفى ستينيات القرن العشرين أجريت تلك الحسابات [١٣] التى تبين كيف تتوقف مدى وفرة العناصر الخفيفة، على متوسط كثافة الباريونات فى الوقت الراهن، وعلى عدد أصناف النيوترينوهات(****)، إلخ... ورغم التعديلات التى أدخلت على هذه الحسابات[١٤]، فلم يتبدل شيء جوهرى على الصعيد النظرى فى خلال آخر ٢٥ سنة. ويبدو أن التفاعلات النووية الأصلية فى النجوم وانفجارات السوبر نوفا،

(*) الديتوريوم: نظير ثقيل ومستقر للهيدروجين تحتوى نواته على نيوترون واحد وبروتون واحد. (المترجم)

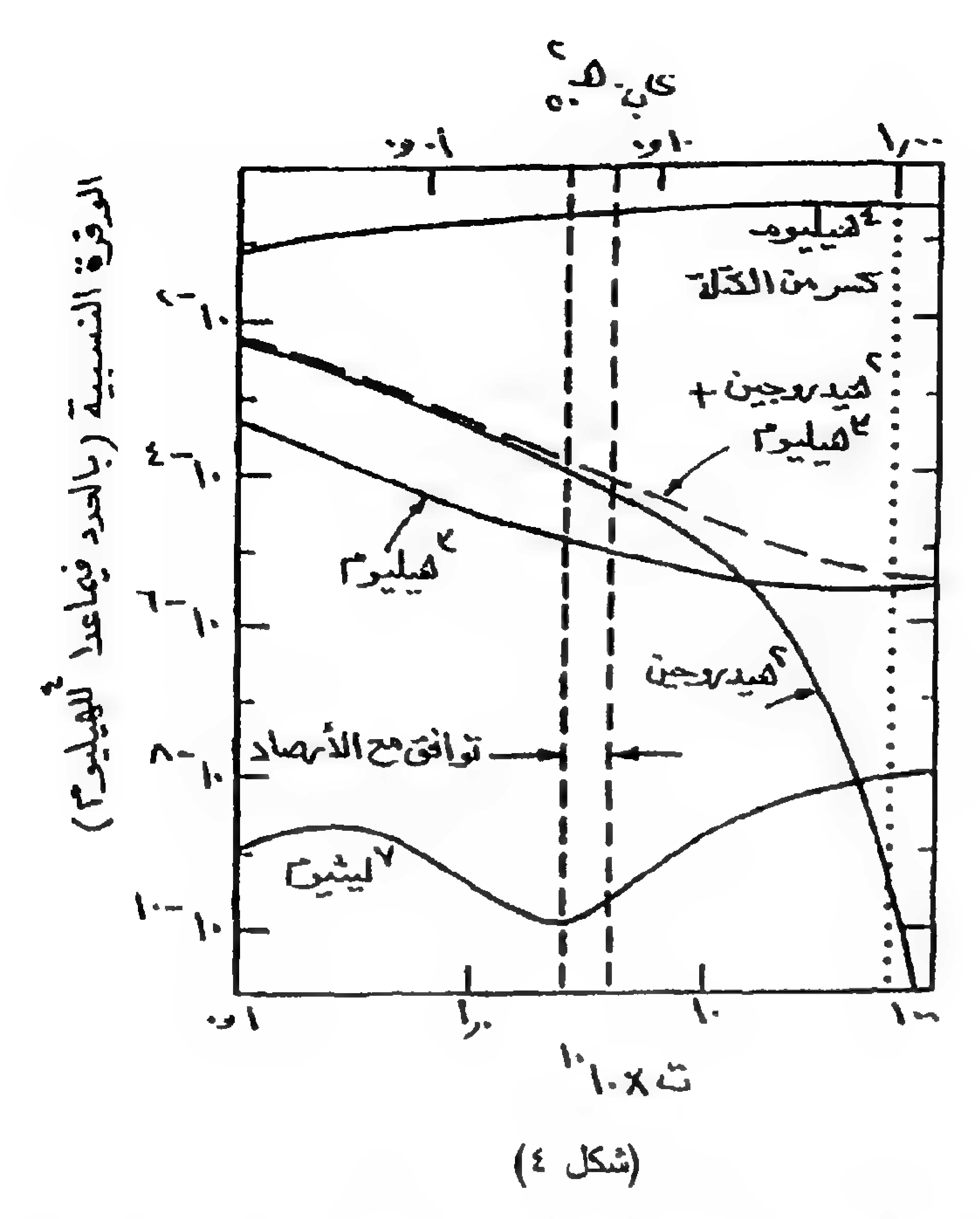
(**) الهليوم ٣ نظير هليومى شديد الندرة (٤و١ جزء فى المليون) تحتوى نواته على بروتونين ونيوترون واحد. (المترجم)

(***) الميجا إلكترون فولت Mev: وحدة طاقة تساوى ٦٠٢١٧٦و١، ١٠ $^{-13}$ جول.(المترجم)

(****) النيوترينو: جسيم أولى أصغر بكثير جدا من الإلكترون ليست له شحنة كهربية، استنبط العلماء وجوده عند تحلل بعض العناصر المشعة، حيث حدث فقدان فى الطاقة، فافترض العالم الأمريكى بأولى عام ١٩٣٠ وجود هذا الجسيم الصغير الذى يحمل معه هذا الفارق فى الطاقة. وسيأتى الحديث عنه فى الباب الثانى. (المترجم)

ونظرية عودة تكون نجوم جديدة، والتى وُضعت فى خمسينيات القرن العشرين[١٥]، قادرة على تفسير تكوّن العناصر الأكثر ثقلا مثل الكربون والأكسجين والحديد [١٦]. على أن النسبة العالية من الهليوم وانتظامها وتجانسها النسبى مثّل دوما مشكلة مطروحة. وعليه، فقد كان اعتبار أن الهليوم هو العنصر الوحيد الذى تولد بغزارة إبان الانفجار العظيم، فرضا مُرضيا ومكملا لبحوث العلماء. وفى سبعينيات القرن العشرين، تم – بصورة صحيحة – تقدير المشاكل الفيزيائية الفلكية حيال تكون الديتيريوم (والذى تتناقص وفرته خلال دورة حياة النجوم ثانية –حيث يعتقد أن هذا النظير هو الآخر من الأحافير الكونية [١٧].

لم يتمكن الفلكيون إلا حديثا، من تحديد مدى وفرة العناصر الخفيفة فى النجوم المسنة (الأقدم عمرا)، والسدم الغازية وما إليها، تحديدا دقيقا بالدرجة الكافية التى تسمح بإجراء مقارنة لها أهميتها بالتنبؤات المبنية على أساس نظرية الانفجار العظيم. وبوجه خاص فإن وفرة الهليوم يتم الآن استقصاؤها بدقة تقارب ١%. وتعطى قياسات وفرة الديتوريوم فى مجرتنا المحلية حدا أقل لوفرته فى الأزمنة الابتدائية. فلا بد وأن نسبة لا يمكن التأكد من مقدارها قد فنيت خلال عمليات نشوء الأجيال المبكرة من النجوم. ويا له من تقدم مهم عندما أتاح تلسكوبا كيك Keck للفلكيين أن يلتقطوا أطيافا بالغة النقاء لأشباه النجوم (الكوازارات) بحيث أمكن قياس خطوط الديتوريوم الضعيفة والتى تزحزحت من نطاق خطوط الهيدروجين القوية زحزحه نظائرية تكافئ ٨٠ كم / ث. ويرجح أن هذه الأرصاد التى تعود إلى انتشار غازات فى الحقب المبكرة ستزودنا بتقدير لوفرة الديتوريوم فى مراحل النشأة الأولى، أدق مما تعطيه القياسات المحلية.



(شكل ٤)

درجة وفرة العناصر الخفيفة المتنبأ بتولدها وفقا للنموذج القياسى لنظرية "الانفجار الأعظم الساخن"، باعتبارها دالة فى نسبة الباريونات إلى الفوتونات (ت). لاحظ أن هناك نطاقا محددا للنسبة ت تعطى الحسابات داخله وفرة فى ^{7}Li، ^{3}He، D، ^{4}He تتوافق مع الأرصاد. (منقولة عن شرام دى. إن. - ١٩٩١- كتاب "بعد اول ثلاث دقائق" هولت إس إس وآخرون (المعهد الأمريكى للفيزياء -نيويورك، ص ١٢).

وما هو مشهود – وطبقا لشكل (٤) – أن درجة وفرة العناصر الخفيفة تظهر جميعها متوافقة مع تنبؤات نظرية الانفجار العظيم فيما يختص بتكون النوى nucleosynthesis علما بأن كثافة الباريونات فى حدود ٠,١ إلى ٠,٣ باريون لكل متر مكعب (وهى كثافة متفقة مع ما نرصده). كان من الممكن أن تكون الوفرة المقيسة هى نفسها فى كل مكان أو أن تدل على كثافة كونية متوسطة فيما مضى. وعلى ذلك فإن حسابات تكون النوى هذه تقدم تبريرا قويا لكى توسع مدى نموذج الانفجار الأعظم النمطى إلى الوراء.. إلى درجة حرارة د بحيث إن بو. د= ١ ميجا إلكترون فولت(*) وأعتقد أن الأساس فى هذا الاستقراء ينبغى أن يؤخذ على محمل الجد شأنه –كمثال– شأن التاريخ المبكر للأرض الذى يؤسس على استدلال غير مباشر من دراسات علماء الجيولوجيا والباليونتولوجيا(**). وهو استدلال نوعى أكثر من كونه كميا.

١ـ ٥ مكانة افتراضية الانفجار الأعظم الساخن:

أنا مستعد للرهان ١٠ مقابل ١ لصالح نظرية الانفجار الأعظم الساخن العامة، بوصفه مفهوما يصف كيف تطور كوننا منذ أن كان عمره نحو ثانية واحدة وكانت درجة حرارته ١٠ ^١٠ درجة كلفن (أو ١ ميجا إلكترون فولت). وهناك من الناس من هو أكثر منى ثقة فى هذا.. ففى محاضرة مشهودة فى (الاتحاد الفلكى الدولى) تعود إلى عام ١٩٨٢، جزم زلدوفيتش [١٨] بأن الانفجار الأعظم كان حقيقة.. مثله مثل حقيقة دوران الأرض حول الشمس. ولا بد أنه حتى كان على دراية بمقولة مواطنه لانداو: "إن علماء الكونيات مخطئون فى الغالب ولكنهم غير متشككين ألبتة".

(*) فى هذه المعادلة: بو هو ثابت بولتزمان =١و٣٨ × ١٠ – ٢٣ جول/ درجة كلفن)، د: درجة الحرارة المطلقة. (المترجم)

(**) الباليونتولوجيا: هى علم دراسة أشكال الحياة فى الفترات الجيولوجية السابقة أو فترات ما قبل التاريخ. (المترجم)

لقد تدعمت افتراضية الانفجار الساخن الأعظم النمطى حقيقة خلال العقد الأخير، من خلال القياسات الأدق للإشعاع الخلفى وللعناصر الخفيفة. علاوة على ذلك فبوسعنا أن نتمعن فى الاكتشافات العديدة التى كانت كفيلة بأن تفند هذا النموذج ولكنها لم تتحقق، فعلى سبيل المثال:

أ- كان على علماء الفلك أن يكتشفوا جرما تصل وفرة الهليوم به إلى الصفر، أو إلى أية نسبة تقل عن ٢٣٪ (ويمكن أن يعزز نشوء النجوم النووى نسبة الهليوم إلى ما فوق معدل وفرته فى عصر ما قبل نشوء المجرات، ولكن يبدو أنه ما من وسيلة مقنعة من خلال فيزيائيات النجوم يمكن أن تستأصله تماما).

ب- ربما ظهر أن طيف الإشعاع الخلفى - بتحسن الدقة التى تجرى بها التجارب- مختلف عن طيف الجسم الأسود (مما يسبب الحيرة للعلماء) وبصفة خاصة ربما كانت خلفية الموجة الملليمترية التى قاسها القمر الصناعى COBE(*) أقل مما نجده باستقراء طيف الجسم الأسود الذى تم تحديده بطريقة لا يتطرق إليها الشك والذى أظهر أطوالا موجية تصل إلى سنتيمترات.

وليس من الصعوبة التفكير فى التأثيرات التى كان من شأنها أن تزيد إشعاعا إضافيا عند الأطوال الموجبة الملليمترية (وفى الواقع فإن ضآلة الإضافات الملليمترية تحد بشدة من المعلومات التى يزودنا بها تكون النجوم المبكر، والجسيمات المضمحلة وما إلى ذلك) ولكن الصعب هو: كيفية تفسير كون درجة حرارة موجة ملليمترية أقل من جسم أسود يتوافق مع جزء رالى -جينز من الطيف(**).

(*) القمر الصناعى COBE (اختصار د. Cosmic Background Explorer) أطلق عام ١٩٨٩ للقياس الدقيق لإشعاع خلفية الموجات فائقة الصغر. وقد قدم أول دليل على التذبذب فى هذا الإشعاع وعلى المناطق من الكون المبكر التى بدأ فيها تكون المجرات. (المترجم)

(**) هو الجزء من الطيف ذو الطاقة المنخفضة. (المترجم)

ج–لو أن نيوترينو مستقرًا اكتشف، له كتلة تقع فى النطاق بين ١٠٠، مليون إلكترون فولت، لما كان هذا متوافقا مع قياسات نموذج الانفجار العظيم التى كانت ستتنبأ بكثافة قدرها ١و١ × $١٠^{٨}$ من هذه النيوترينوهات فى المتر المكعب، والنيوترينوهات المتبقية كان من شأنها أن تجعل كثافة الكون الحالى أعلى كثيرا من تلك التى تتوافق مع الأرصاد الفعلية.

تمنحنا كل هذه الاعتبارات الثقة فى صحة مد صلاحية استنباطاتنا إلى الوراء.. إلى الثوانى الأولى من تاريخ كوننا، وفى افتراض أن قوانين المايكروفيزيائيات عندئذ كانت هى هى كما هى الآن.

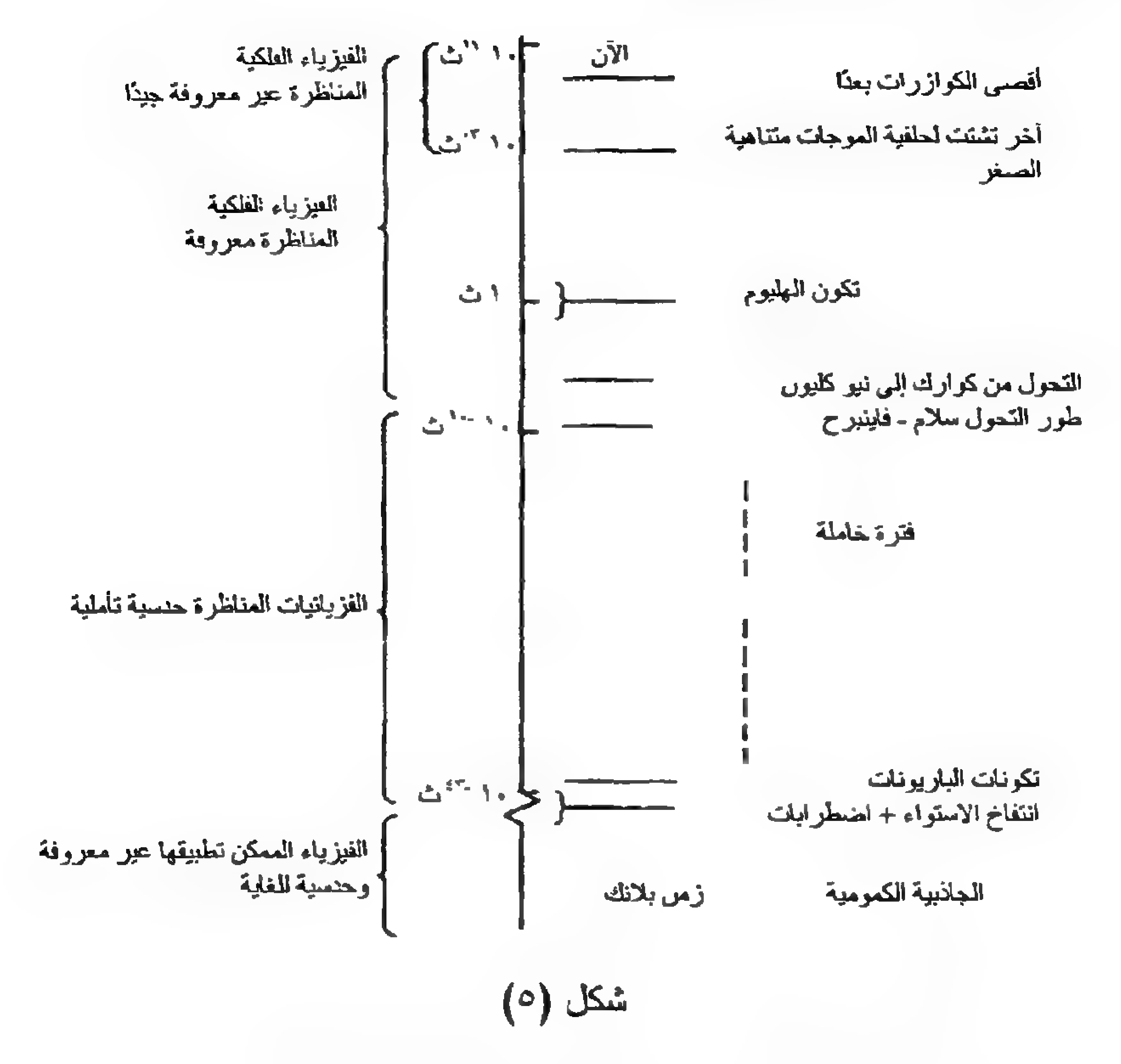
إلا أن هذه الثقة – وللأسف – فى غير موضعها الصحيح، وسيثبت أن اقتناعنا هذا، اقتناع مرحلى وعابر، تماما كاقتناع فلكى من أتباع بطليموس[*] قد أدخل فلك تدوير جديدا[**]. على أن الانفجار العظيم الساخن يبدو أنه بالتأكيد يحظى بقبول حسن وعلى نطاق واسع من أى بديل مكافئ آخر.

إذا وقعنا الزمن – بمقياس لوغاريتمى على رسم بيانى، فإن كثيرا من الأحداث المهمة فى التاريخ الكونى ستغفل وتسقط إذا أخذنا بعين الاعتبار فحسب الفترة بعد أن تجاوز الزمن الثانية الأولى (عند ن > ثانية).

(*) بطليموس هنا: فلكى إغريقى عاش فى القرن الثانى بالإسكندرية، واشتهر بنظريته عن المنظومة الشمسية حيث حشد ملخصا لمعارف فلكيى اليونان وأفكارهم فى كتابه المعروف بالمجسطى وهو أقدم كتاب معروف فى الرياضيات والفلك حتى العصور الوسطى. وفى النظام الذى وضعه بطليموس تحتل الأرض مكان المركز فى حين تسلك الكواكب مسارات بالغة التعقيد حولها. (المترجم)

(**) فلك التدوير epicycle: هو دائرة صغيرة –فى علم فلك بطليموس– يتحرك مركزها على محيط دائرة أكبر مركزها الأرض ويحدد محيط مسار الكوكب حول الأرض، وقد استحدثها بطليموس لتفسير حركة الكواكب الظاهرية. والمؤلف يشير إلى التعقيد الذى كان يضفيه الإفراط فى استعمال هذه الدوائر. (المترجم)

ويصور شكل (٥) كيف تطور الكون منذ زمن بلانك(*) إلى الوقت الراهن. وعدم تيقننا من الفيزيائيات المناظرة آنذاك يعيق ثقتنا فى مناقشة المدى الشاسع للزمن اللوغاريتمى ما بين $١٠^{-٤٣}$ ثانية، $١٠^{-٤}$ ثانية، حين تجاوزت الطاقات الحرارية ١٠٠ ميجا إلكترون فولت.



شكل (٥)

تاريخ كوننا طبقا لنموذج الانفجار العظيم الساخن القياسى.

(*) زمن بلانك (ومقداره = ٥و٣٩١ × ١٠ – ٤٤ ثانية) هو الزمن الذى يلزم للضوء، كى يقطع مسافة وحدة طول بلانك، البالغ ١و٦١٦ × ١٠ – ٣٥ مترا. وتلعب وحدات بلانك دورا أساسيا فى نظرية النسبية وميكانيكا الكم وفى الفيزياء النظرية لتبسيطها الكثير من التعبيرات الجبرية فى قوانين الفيزياء. (المترجم)

في الأزمنة التالية بوسعنا المثابرة على استعمال الفيزيائيات متناهية الصغر المعروفة لنا جيدا. وطالما بقى الكون متجانسا، فمن الممكن تتبع تطوره مباشرة انطلاقا من ذلك. وعلى أية حال، فربما تطورت بعض الاضطرابات (*).الابتدائية الطفيفة في مرحلة ما إلى نظم محكومة بالجاذبية(**) (أهي مجرات أولية! أهي تجمعـــات نجميــة أوليــة؟). إن الانحراف عن العلاقة الخطية يخلق عندئذ تعقيدات تجابهنا بالتحدى حتى رغم أن ما يحكمنا فيزيائيا هو الجاذبية النيوتونية، وديناميكيات الغاز.

ورغم أهمية أقصى مراحل الكون تبكيرا وطرافتها، لعله من الرعونة أن نغامر بالرهان على ما حدث عند الزمن ن << ١ ثانية (أقل كثيرا من الثانية الواحدة). والقواعد التجريبية لهذه الأطوار الباكرة من التاريخ الكونى أكثر تهافتا وهشاشة بكثير من البرهان الكمى المعتمد على الأحافير (ابتداءً من العناصر الخفيفة وإشعاع الخلفية) للحقب الزمنية التى تلت الثانية الأولى. إن أول جزء من الألف من الثانية من تاريخ الكون، تلك الحقبة الوجيزة ولكن المتخمة بالأحداث والتى تغطى ٤٠ عقدا أو وحدة على المقياس اللوغاريتمى (ابتداءً من زمن بلانك)، لهى الملاذ العقلانى لمناصرى نظرية الطاقة العالية، وعلماء الكونيات من أتباع نظرية الانتفاخ أو الكموميات. لقد كانت الكثافات والطاقات من الارتفاع بحيث إن نواميس الفيزياء الملائمة لها هى مجرد حدس وتأمل.

واعتبارا من وصول الزمن إلى ١٠ $^{-٣}$ ثانية وصاعدا، تصبح التنبؤات الكمية فى حيز الإمكان، مثل تلك التنبؤات عن تولّد العناصر الخفيفة فى الكون. وتدعم هذه التنبؤات استقراءنا للزمن الماضى للأحداث. (وهذه التنبؤات بالمثل

(*) الاضطرابات الابتدائية Initial perturbations: يقصد بها اختلال فى مدار كوكب أو نجم نتيجة وجود جرم آخر. (المترجم)

(**) النظم المحكومة بالجاذبية: مجموعة أجرام مرتبطة ببعضها عن طريق قوى التجاذب. (المترجم)

وبالمناسبة تبرر ذلك الافتراض أن قوانين المايكرو فيزياء كانت حقا هى هى عندما كان الكون آخذا فى التمدد لمدة ثانية واحدة فقط مثلما هى فى مختبراتنا على سطح أرضنا). ويتعين علينا أن نبقى أبواب عقولنا مفتوحة -أو على الأقل منفرجة- لتقبل احتمال ألا يكون الأمر كذلك.

لقد تحقق تقدم مشهود فى آخر ٢٥ عاما فى رسم الخطوط العريضة لقصة تطور الكون ورسم خريطة لبنية التجمعات والتجمهرات النجمية وتحركاتها، وفى مسح الأجرام ذات الانحياز الكبير نحو الأحمر. ولقد جلب هذا التقدم إلى بؤرة الاهتمام أسئلة جديدة ومهمة ذات صلة وثيقة بهذا الموضوع

أ- كيف برزت للوجود تلك البنى التى تسود كوننا اليوم من مجرات وتجمعات نجمية، من بداية هلامية غير متبلورة فى الزمن المبكر.

ب- ما هو كنه هذه المادة المعتمة التى يبدو أنها المكون السائد فى الكون؟

ج- هل المتغيرات الجوهرية التى حددت طبيعة كوننا كما نعهده اليوم -أى البنى ونسبة الباريونات والمادة المعتمة، هل هى ميراث من فيزيائيات جليبة غير مألوفة لنا، وفدت لنا من مراحل أكثر تبكيرا من عمر كوننا؟

إن هذه المحاضرات معنية فى المقام الأول بالسؤالين الأولين المرتبطين ببعضهما. بيد أن الفصل الأخير سيلمس - بإيجاز وعلى مستوى حدسى - أمورًا أكثر اتصالا مباشرا بتلك الفيزيائيات المبهمة التى حكمت تلك المراحل المبكرة من التاريخ الكونى.

الباب الثانى
المجرات والمادة المعتمة

٢ – ١ ما المجرات:

على الرغم من التجانس الذى يبدو فى الصورة العريضة للكون على وجه العموم، فإن مكوناته التى يحتوى عليها – أى مجراته المنفردة ذاتها والتجمعات والعناقيد التى تتجمهر فيها– هى ما يمثل مادة علم الفلك الرئيسية التى ينبغى إيلاؤها العناية. وهذا هو الهدف الأساسى لدراستنا، والموضوع الرئيسى فى هذه المحاضرات، حتى نتفهم كيف تطور الكون عبر عشرة بلايين سنة تقريبا، من مجرد كرة نارية كثيفة حتى وصل إلى صورته الراهنة، تلك التى تهيمن فيها المجرات– على المقياس الكبير– على المشهد الكونى برمته. على أنه من الأوفق أن نبدأ بالتركيز على المجرات ذاتها. فمعظم التساؤلات التى تدور حولها لم يعثر لها بعد على إجابة شافية، وعلى وجه الخصوص:

أ– نحن لا ندرى لماذا تحتّم وجود مثل هذه الأشياء (أى المجرات) أصلا– ولماذا كانت هذه التكوينات المتسقة من النجوم والغاز– بخواصها التى تكاد تكون قياسية، هى أكثر الملامح جلاءً فى الكون على المقياس الكبير.

ب– إن نحو ٩٠٪ من الكتلة المادية الخاصة بالمجرات متوارية عنا. فالنجوم النيرة والغازات لا تسهم إلا بحوالى ١٠٪ من المادة التى تتحرك بفعل الجاذبية والتى نستنبط مقدارها من دراستنا للديناميكيات. أما ما تتكون منه البقية فما زال لغزا يكتنفه الغموض.

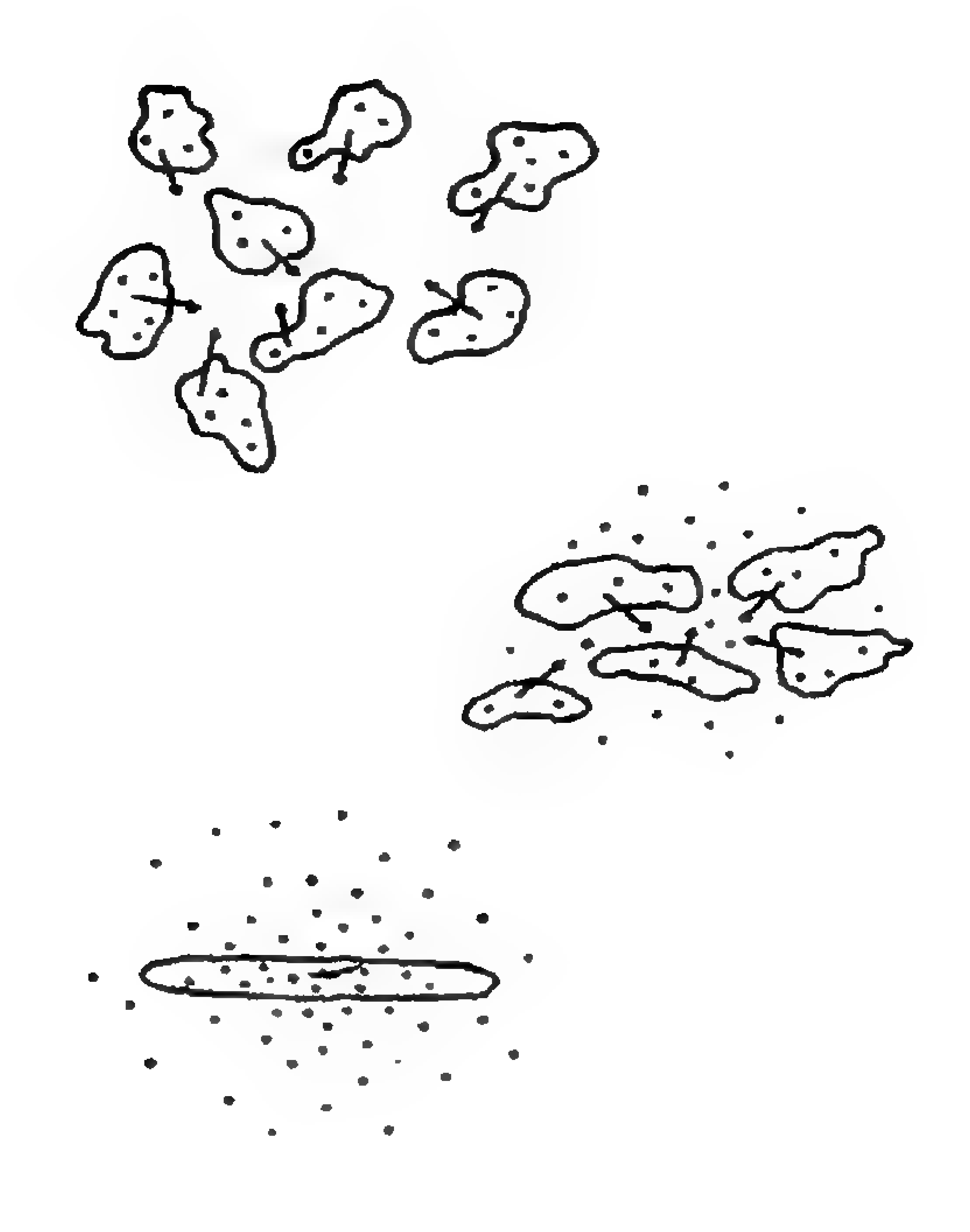
ج- ليس من الواضح لماذا تتوهج نوى بعض المجرات، مطلقة كميات جبارة من الإشعاع الذى لا ينتمى للنجوم وإنما ينبعث من أشباه النجوم والمجرات الراديوية.

تتملكنا الحيرة حيال هذه الموضوعات، شأننا شأن أسلافنا منذ ٧٥ عاما فى حيرتهم إزاء طبيعة النجوم. غير أن بعضا منا يأمل فى أن العمليات الفيزيائية التى تمثل العامل الأساسى فى تشكل المجرات لن تلبث أن تقع فى بؤرة اهتمامات علماء الفلك، كـــى يــولــوها ما تستحقه من عناية. وما من شك فى أن المناقشة التالية - لقصرها وعموميتها - قد تشوه الصورة، وإن كنت آمل أن تنقل جوهر الأفكار التى تطرحها.

فى كتابهما الكلاسيكى عن (ديناميكيات المجرات) يؤكد "بينى"، "وتريمين" ويجزمان[١٩] بأن المجرات من علم الفلك، بمثابة النظام البيئى من علم الأحياء. فهى ليست مجرد وحدات متنقلة فحسب، بل هى وحدات كيميائية بالمثل. فالذرات التى تتركب منها أبداننا تجيء من كل أرجاء مجرتنا "درب اللبانة"، بل إن بعضا منها يفد من المجرات الأخرى. وهذا التماثل البيئى يعكس ملامح أخرى للمجرات: تعقد تركيبها وتطورها الدائم وعزلتها النسبية.

بوسعنا ترسم خطوات النجوم المفردة – وهى بمثابة الكائن المفرد فى نظام المجرات البيئى - منذ ميلادها فى رحم السحب الغازية وعبر دورات حيواتها. ولقد اقتربنا من تفهم السبب فى أن للنجوم هذه الخصائص العامة التى نشاهد. أما السؤال عن وجود المجرات فليس بمثل هذه السهولة، ولا يتكافأ مع سؤالنا عن النجوم. فقد تكونت المجرات فى مراحل أكثر تبكيرا وأغور عمقا فى حقب الكون، ولسنا نعرف قدر ما يمكن شرحه ويتيسر التوصل إليه من عمليات تكوينها الاعتيادية ودراسته، ولا أسباب حدوثها فى الحقب الكونية المبكرة.

هناك تصنيف للمجرات، يقتضى استيعابه جهدا مضنيا، على أن الفئتين الدارجتين منها هما المجرات القرصية والمجرات الكروية (الإهليلجية). وربما يرجع هذا التصنيف القائم على الشكل البنائى إلى رسم هزلى ذائع الصيت يعود إلى ٣٠ عاما خلت. هب أن مجرة ما قد بدأت دورة حياتها كسحابة غير منتظمة الشكل من الغاز، أخذت فى التقلص بتأثير الجاذبية وأن تقوضها اتسم بدرجة عالية من التبدد، بمعنى أن كل كرتين من الغاز تصادمتا، قد شعّتا طاقتهما الحركية النسبية ثم التحمتا (شكل رقم ٦) فسيتخذ الشكل النهائى للانهيار هيئة قرص دوار، فتلك هى الحالة الدنيا من الطاقة التى يمكن للغاز أن يصل لها ما لم يفقد أو يُعد توزيع عزمه الزاوىّ. Angular momentum . والنجوم- وفى الحقيقة أى شىء مدموج- لا يرجح أن تصطدم ببعضها، وبالتالى فهى لا تملك أن تشتت طاقتها بنفس أسلوب السحب الغازية. لذا، فإن معدل تحول الغاز إلى نجوم قد يكون ذا دلالة جوهرية فى تحديد نوع المجرة الناتجة، فالمجرات الإهليلجية هى تلك التى كان معدل التحول فى حالتها سريعا، بحيث تكون النجوم قد تم تكونها سلفا قبل أن يتيح الوقت للغاز أن يستقر فى الحالة الدنيا من الطاقة، على حين تنشأ المجرات القرصية عندما يتأخر تكون النجوم إلى ما بعد استقرار الغاز فى هيئة قرص.



شكل رقم (٦)

رسم تخطيطى مبسط يوضح انهيار سحابة غازية غير متجانسة، تدور ببطء حول نفسها. تتبدد طاقة حركة الغاز الداخلية فى أثناء ذلك الانهيار، ويستقر الغاز – فى خاتمة المطاف – فى هيئة قرص. ومن شأن النجوم التى تتكون بهذا الأسلوب من الانهيار أن تتكبح حركتها فى الاتجاه العمودى على سطح القرص، مكونة المركبة الكروية.

ووفقا لهذا التصور التقليدى، فالمجرات القرصية هى تلك ذات التحول الأبطأ، التى تستغرق وقتا أطول فى الدنو من حالة الاستقرار والتى يحتبس فيها الغاز فى نجوم ذات كتلة صغيرة أو بقايا أجرام ميتة.

٢ – ٢ أبعاد المجرات، بوصفها حالة خاصة:

يفتقد الشرح السابق ركنا وحيدا مهما. فلا يوجد فى شكل (٦) مقياس واضح، فى حين أن للمجرات حيزا مميزا حتى وإن تفاوتت –كالنجوم– نطاقات شدة سطوعها. هل هناك فى الفيزياء ما يقيس أبعاد سحب ذات أبعاد مجرية، تماما كما فهمنا– منذ إدنجتون وشاندرا سيخار(*) المقياس الطبيعى للنجوم؟ ينبغى أن يحدد علم الكونيات – ولو إلى حد ما – معيارا لأبعاد المجرات، فلم تكن المجرات لتوجد ما لم تسمح الظروف الابتدائية وديناميكيات الكون المتمدد– من الناحية الجذبوية– لسحب الغاز المحبوسة بالتكاثف. على كل حال، فمن الواضح أن هناك أمرًا ما يحدد أين يقع على سلم مقياس الكتل الحد الفاصل الذى تنتهى عنده المجرات المفردة وتبدأ عنده عناقيد المجرات. لماذا – على سبيل المثال– ليس عنقود المجرات (كوما) (**) تجمعا هلاميا ضخما يحوى ١٠ ^١٤ نجما!

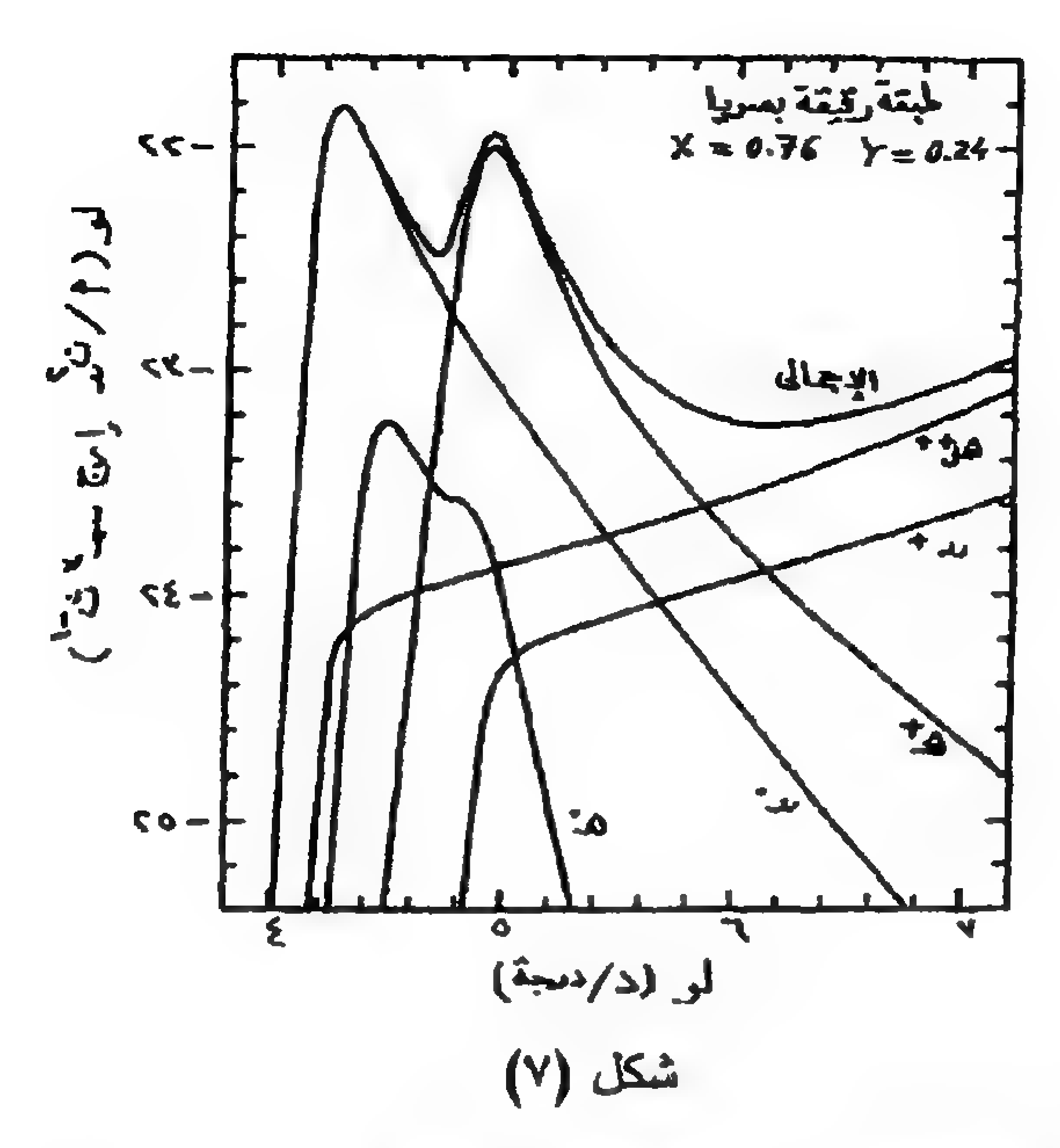
هناك قضية فيزيائية بسيطة تطرح –على الأقل– جزءًا من الإجابة [٢٠].
افترض حزمة من السحب الغازية مرتبطة معا برباط الجاذبية، غير أنها ذوات كتل وأنصاف أقطار متباينة. هنا معياران للزمن لهما أهميتها فى تحديد تطور السحابة الغازية تحت تأثير قوى جذبها الذاتية: أولهما هو ديناميكا زمن السقوط الحر، ($ن_ح$) وهو من رتبة $\sqrt{١/ء}$ (***)، وتعتمد قيمته الدقيقة على الشكل الهندسى للتقوض. والثانى هو المقياس الزمنى للابتراد كنتيجة لتسرب الحرارة بالإشعاع ($ن_ب$)، وهو يعتمد على درجة حرارة الغاز ($ح_غ$)، ويمكن صياغته فى الصورة $\frac{بو.د غ}{ث ل(د)}$ حيث

(*) وضع إدنجتون حدا أعلى للنسبة ما بين سطوع نجم ما وكتلته حتى يكون مستقرا. ويساوى هذا الحد (عند تطبيق لمعان الشمس، وكتلتها حوالى ٤٠٠٠٠. وبتجاوز هذا الحد تتفجر الطبقة الخارجية من النجم تحت الضغط الإشعاعى. أما شاندرا سيخار فقد وضع حدودا لتطور النجم طبقا لكتلته لينتهى به الأمر إلى ثقب أسود إذا كانت كتلته أكبر من ٤و١ مرة كتلة الشمس، أو إلى قزم أبيض إذا قلت عن ذلك.(المترجم)

(**) ذات الشعور أو الذؤابة Coma Berenices: عنقود مجرى ضخم يحتوى على آلاف المجرات ويوجد فى كوكبه (ذؤابة برنيكس) على بعد حوالى ٣٢٥ سنة ضوئية. (المترجم)

(***) ترمز (ء) هنا إلى عجلة الجاذبية. (المترجم)

ث الكثافة، ل (د) هى دالة فى درجة الحرارة يمكن حسابها من الفيزياء الذرية (شكل ٧).



شكل (٧)

دالة التبريد لطبقة بلازما رقيقة (بصريا) ذات تركيب ابتدائى فى حالة اتزان تأينى ويشمل هذا تأثير الإشعاع الحرارى التباطؤى[*] thermal bremsstrahbung على الهيدروجين (يد +) والهيليوم (هـ ++)، وعودة اندماج إشعاعى وعودة اندماج إلكترونى ثنائى واستثارة عند مستويات بعينها.

(مقتبس من فال. إس. إم، ريس إم. جى (١٩٨٥) – مجلة الفيزياء الفلكية عدد ٢٩٨، ص ١٨ شكل رقم ١).

(*) عندما تصطدم إلكترونات تتحرك بسرعة فائقة، بحائل كثيف فإن سرعتها تتناقص بشدة وتطلق إشعاعا. وطيف الأشعة السينية العريض المستمر الناتج يعرف باسم الإشعاع الحرارى التباطؤى bremsstrahlung فهو نوع من الإشعاع الكهرومغناطيسى نتيجة تسارع شحنة كالإلكترون يحدث لها انحراف نتيجة وجود جسيم مشحون آخر. (المترجم)

إذا تجاوز $ن_ب$ (زمن الابتراد)، $ن_ء$ (زمن ديناميكا السقوط الحر) فيمكن أن تصل سحابة كتلتها ك ونصف قطرها نق إلى شبه اتزان إستاتيكى. أما إذا كانت $ن_ب < ن_ء$ فمثل هذا الاتزان فى حكم المستحيل (شكل ٨). تبرد السحابة إلى ما تحت الدرجة المقومة virial(*) ويحدث لها تقوض طبقا لنموذجى السقوط الحر أو التشظى، ويمكن أن تتقوض السحب وتتشظى على النحو المصور فى شكل (٦) فقط إذا دخلت فى الجزء من مستوى علاقة الكتلة بنصف القطر M- R الذى كان فيه معدل التبريد أسرع من السقوط الحر.

وتبين الحسابات المبسطة أن هذه الظاهرة تتضمن علاقة تربط نصف القطر باعتباره دالة فى الكتلة فى حدود ٧٥ كيلو بارسك، وكتلة حرجة $ك_ح$ فى حدود $١٠^{١٢}$ $ك_ش$(**). والسحب ذات الكتلة الأقل من الكتلة الحرجة $ك_ح$ ستتبعثر. أما فوق $ك_ح$ فالتشظى مستحيل مالم تتقلص السحابة بحيث ينقص نصف قطرها عن نق ح (شكل ٩).

والكتلة ونصف القطر المميزان هذان تحددهما نواميس الفيزياء الذرية التى يلخصها شكل (٧)، مع ربطه بمتطلبات الاتزان الجذبوى، ويصلحان فى كثير من المخططات التى تفسر نشأة الكون – على الأقل – فى وضع الحد الأقصى لمقياس المجرات.

(*) تعنى نظرية التقويم virial theorem طريقة لحساب كتلة العنقود المجرى بناء على سرعة تحرك مكوناته، وهى تعطى فى الفيزياء الفلكية تفسيرا للظاهرة العجيبة من أن النجم –إذ يشع طاقة ويتقلص– ترتفع درجة حرارته. فهى تربط بين متوسط طاقة الحركة ومتوسط طاقة الوضع (طاقة الوضع الجاذبى تساوى ضعف طاقة حركة أجرام المنظومة) ومن خلال ذلك يمكن حساب كتل التجمعات المجرية من حجمها ومتوسط سرعات الأجرام المرئية بها. والأرقام المتحصل عليها من هذه الحسابات تعطى عشرة أمثال الكتل المنظورة، وقد أفضى هذا إلى فرضية المادة القاتمة أو المختفية فى عناقيد المجرات. (المترجم)

(**) ك ش تعنى هنا كتلة الشمس التى تبلغ ١٫٩٨٩ × $١٠^{٣٠}$ كيلوجراما. (المترجم)

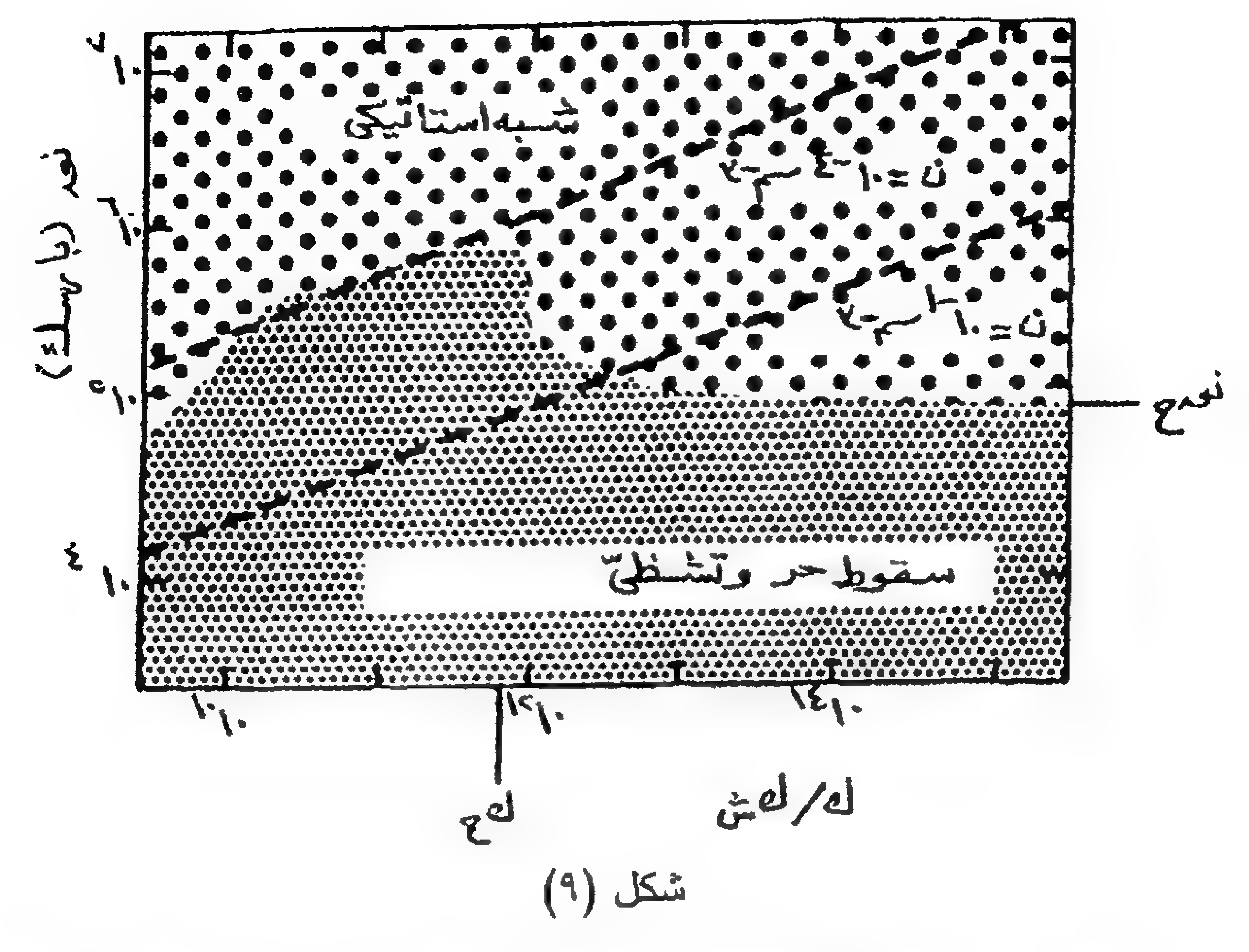
وقد ذكر إدينجتون أن فيزيائيا على سطح كوكب محكوم بسحابة يمكنه أن يتنبأ بخصائص (المفاعلات الاندماجية التى تحكمها الجاذبية)، تلك التى نسميها بالنجوم. وهذه الاعتبارات البسيطة ذات علاقة بالمجرات حتى على الرغم من أنها غير كافية للتكهن بطبيعتها. إن الشرح الوافى لطبيعة المجرات لا بد وأن يتضمن وضعها فى السياق الكونى. وهناك أيضا تلك الحقيقة المحيرة، وهى أن معظم كتلتها – ربما ٩٠٪ منها – لا تؤخذ فى الاعتبار. إن هذا الجزء الذى لا يؤخذ فى الاعتبار ليس فى النجوم ولا فى الغازات التى نراها، وإنما يتخذ هيئة (معتمة) غير معهودة.

نموذجا الانكماش



شكل (٨)

نموذجا التقوض لسحابة غاز ذاتية الجاذبية اعتمادا على المعدلات النسبية للتبريد والسقوط الحر.



شكل (٩)

يصور هذا الشكل الخطوط العريضة للعلاقة بين الكتلة ونصف القطر لسحابة غازية تحت تأثير جاذبيتها الذاتية، يستوى لها مقياس التبريد الزمنى ومقياس والزمن الديناميكى (وذلك بافتراض أن التبريد ناجم عن العمليات المبينة بشكل (٧) فحسب). إن لسحابة ذات كتلة ما، وكان نصف قطرها فى الأصل بالغ الكبر سوف تتقلص بكيفية شبه إستاتيكية (لأن زمن الابتراد ن ب أكبر من الزمن الديناميكى) إلى أن تتقاطع مع الخط الحرج. عندئذ فسوف تنهار طبقا لنموذج السقوط الحر وتتشظى إلى نجوم. وهذا التفسير المبسط (الذى يمكن تعديله كى يستوعب هندسة الأشكال غير الكروية، أو المكون غير الباريونى من الكتلة، وخلاف ذلك) يطرح لماذا لا تتكون مجرات ذات كتلة باريونية تتجاوز كثيرا مليون مليون مرة كتلة الشمس، وأنصاف أقطار تزيد كثيرا عن مائة ألف بارسك، وذلك بصرف النظر عن التفاصيل الكونيـــة الأخرى. ففوق ١٠ ^١٢^ كش ينبغى أن تتضغط المنظومة حتى تصل كثافتها إلى ٠,١ ذرة لكل سم^-٣^ قبل أن تنخرط فى انهيار

يتوافق مع نموذج السقوط الحر، أما دون هذه الكتلة، فلا تتجاوز الكثافة اللازمة ١٠ ⁻⁴ ذرة فى كل سنتيمتر مكعب. إذا ما رغبنا فى استقصاء تفاصيل أعمق فيلزمنا معارف أشمل عن الاضطرابات الابتدائية وكذلك عن مدى كفاءة عملية تكون نجم ما فى مجرة أولية ميكرة. ملحوظة: ن فى الشكل ترمز إلى عدد الذرات.

٢ – ٣ المادة المعتمة

٢– ٣– ١ الهالات المجرية:

تأتينا طائفة من البراهين على وجود المادة المعتمة من أقراص المجرات، كما فى مجرة درب التبانة أو مجرة أندروميدا. فهذه المجرات تتكون – فى المقام الأول– من نجوم، بيد أنها تحتوى أيضا على سحب بين النجوم من الهيدروجين المحايد (HI) (*). وهذه السحب، وهى فى حد ذاتها جزء ضئيل من الكتلة الكلية، تفيدنا فى ترسم الحركة المدارية.[٢١] ويمكن لعلماء الفلك الراديوى أن يرصدوا الهيدروجين المحايد HI عن طريق خط انبعاث من الكيانات فائقة الصغر ٢١ سم (١٤٢٠ ميجا هيرتز) (**) عند أنصاف أقطار تتخطى كثيرا حدود القرص الذى يمكن رصده ضوئيا. وهذا الغاز الشارد عن محل إقامته واقع فى مستوى القرص. ولو أن طبقة السحب الخارجية من الهيدروجين المحايد قد تأثرت بالشد الجذبوى حتى يمكننا أن نراه، لهبطت سرعاتها بمعدل يتناسب تقريبا مع الجذر التربيعى للمسافة خارج الحدود الضوئية للمجرة، ولتحركت الطبقة الخارجية من الغاز بسرعة أبطأ، تماما مثلما يدور نبتون وبلوتو حول الشمس بسرعة أبطأ من سرعة

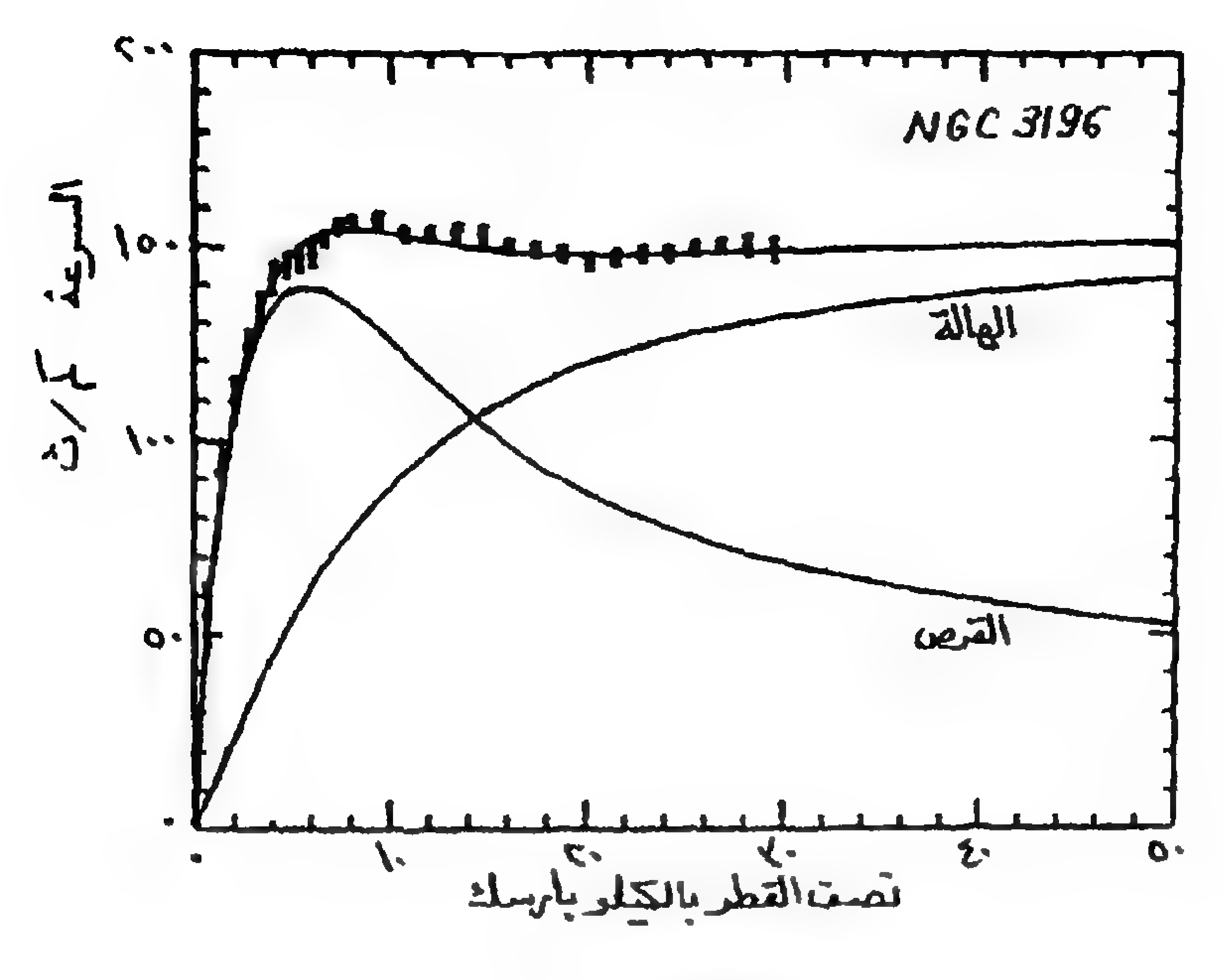
(*) الهيدروجين المحايد (HI) هو الهيدروجين الذى عادت لأيوناته الإلكترونات فى مرحلة عودة الاندماج السابق الإشارة إليها بحيث صارت ذراته عديمة الشحنة أى محايدة. (المترجم)

(**) خط الانبعاث ٢١سم: هو خط طيفى تشعه (أو تمتصه) ذرات الهيدروجين من مادة ما بين النجوم فى النطاق الراديوى ذى الطول الموجى ٢١سم. (المترجم)

دوران الأرض. ومن ثم فإن منحنيات الدوران هذه تتطلب وجود هالة(*) ممتدة ومرئية تحيط بالمجرة مثل الحال مع مجرتنا تماما. وبالمثل لو أن بلوتو كان يدور بنفس سرعة الأرض لاستنتجنا وجود قشرة معتمة من المادة خارج مدار الأرض ولكن داخل مدار بلوتو.(٢٢) (شكل ١٠) إن دليلا إضافيا على وجود "المادة المعتمة" فى نطاق مجرتنا يأتى من مدارات التجمعات الكروية الشاردة عن موضعها ومن مجرات التوابع القزمية. وبمقدور علماء الفلك أن يستشعروا - بالأشعة السينية - الانبعاثات من الغاز الساخن فى باطن المجرات، ويحددوا نموذج تغير كثافته ودرجة حرارته. وبافتراض أن هذا الغاز مقيد ومحكوم بالجاذبية فبالمقدور استنتاج مدى عمق بئر مجال الجاذبية وامتداده(**). ويدعم خط هذه المقولة ما نجده من أن كلا المجرات القرصية والإهليلجية لديها هالات قاتمة ممتدة، تنخفض كثافتها - خارج باطن يصل نصف قطره إلى عدة آلاف بارسك، بمعدل يتناسب عكسيا مع مربع نصف القطر تقريبا. وهو القانون الذى تتبعه كرة ذات درجة حرارة ثابتة، وطبقا لهذا القانون فالكتلة المتضمنة داخل نصف قطر نق تتناسب مع نق مرفوعة للأس(١) عند أنصاف الأقطار الكبيرة(٢٣).

(*) الهالة halo: هى تجمع دائرى فى الفضاء حول المجرة يضم مجموعات متناثرة من النجوم المسنة والعناقيد الكروية والغاز المتخلخل. (المترجم)

(**) بئر الجاذبية: يقصد به، فى علاقة القوى بين جزيئين مع المسافة، الموضع الذى تصل فيه طاقة الوضع إلى حدها الأدنى ومن هنا جاءت التسمية بالبئر فكأن الجرم فى قاع بئر يحتاج لكمية من الطاقة لإخراجه منها. (المترجم)



شكل (١٠)

معدل الدوران بوصفه دالة فى نصف قطر المجرة (NGC3196). الخط السفلى المرقوم بالقرص يشير إلى الدوران المتوقع لو كانت الكتلة متناسبة مع الضوء الذى يتناقص معدله بسرعة خارج البعد ١٠ كيلو بارسك. عند أنصاف الأقطار الأكبر يتعين أن تقوم هالة قاتمة بدور كتلة المادية المسيطرة بحيث يعطى التأثيران معا (مضروبين فى ٤) منحنى الدوران (المسطح تقريبا) وكما نقيسه.

(من بيجيمان ك.ج – ١٩٨٩– مجلة الفلك والفيزياء الفلكية –العدد ٢٢٣– ص ٤٧

٢ـ ٣ـ ٢ مجموعات المجرات وتجمهراتها:

لمجرتنا –كما لمجرة أندروميدا– هالات ممتدة، وإجمالى كتلة هذه المجموعة المحلية من المجرات (والتى تمثل هاتان المجرتان القرصيتان الضخمتان فيها

الجانب المسيطر) يمكننا استخلاصها مما يطلق عليه المسألة التوقيتية[*] timing argument[٢٤]، فيما يحسب المرء كم يلزم من الكتلة حتى يحدث الوضع الكينماتيكى الحركى الراهن والذى تبعد فيه مجرتنا عن مجرة أندروميدا بـــ ٦٠٠ ألف بارسك، بينما تهوى كل منهما فى اتجاه الأخرى.

وتشير هذه التقديرات إلى أن الهالتين حول هاتين المجرتين ربما كان لهما من الكتلة ما يجعلهما تمتدان للخارج إلى أن تلتحما فى النهاية. والواقع أن المقياس الزمنى الديناميكى فى هالة ذات درجة حرارة ثابتة يتناسب مع نصف القطر نق. ويقتضى ذلك أنه حتى فى مجرة معزولة فلا بد وأن ينقطع اتصال الهالة عند نصف القطر الذى يقترب عنده مقياس الزمن من عمر المجرة. إن المجرات الضخمة التى لا يجاورها جيران قريبون ربما يصل نصف قطر هالتها –كنمط سائد– إلى ١٠٠ كيلو بارسك أو أكثر. وفى تجمع من المجرات، لا تقوى هذه المجرات على الاحتفاظ بهالاتها الممتدة لنفسها، بل تتداخل الهالات وتتذاوب. ويبدو حينئذ، أن هناك مقدارا مناظرا من المادة المعتمة لكل مجرة يتوزع بانتظام خلال تجمع المجرات كله.

وتبين الدراسات لديناميكيات حركة تجمعات المجرات وجمهراتها أن هذه المنظومة حقيقة بالتنافر، متباعدة عن بعضها لو لم تحتو من المادة أكثر بكثير مما نشاهد[٢٥]. ويمكننا استعمال الحركات النسبية للمجرات المكونة لتجمع ما، والخصائص المستنتجة من فحص الغاز الساخن المنبعث من خلال تجمع المجرات بالأشعة –السينية فى تقدير كتلة المادة المعتمة وكثافتها، وإن لم يكن لتجمع المجرات نفس الكثافة.

(إن تحركات المجرات ترسم فى الأساس بئر طاقة للجاذبية. ولكن هذه الاستدلالات يصعب تطبيقها عمليا، لأنها تعتمد على مدى تجانس مسارات

(*) يقصد بها وسيلة رياضية لتحديد كتل المجرات بربطها بأعمارها.(المترجم)

المجرات، أى ما إذا كان لها نفس الخواص فى كل الاتجاهات أم أن حركتها فى الاتجاه القطرى هى الغالبة. وتوزيع الغاز بالنسبة للمادة المعتمة هو – فى المقام الأول– دالة فى النسبة ما بين درجة حرارة الغاز ودرجة الحرارة المقومة (دق). على أية حال، فثمة صعوبات تلوح فى الأفق لأن علماء فلك الأشعة السينية لم يصلوا بعد لدرجة التفريق الكافى للطيف مقترنة بدرجة تكوين زاوى كبيرة. علاوة على ذلك فربما يكون الغاز غير متجانس ومدفوعا – بصورة جزئية – بتحركات غالبة عليه أكثر من كونه مدفوعا بالضغط الحرارى).

وهناك طريقة جديدة وطريفة فى رسم مخطط لتوزيع الكتلة الكلية فى التجمع، تستغل الانحراف فى مسار الأشعة الضوئية بتأثير جاذبية التجمع النجمى. فهذا التأثير يشوه صور الأشياء الواقعة فى خلفية الصورة، فتظهر بها آثار خطوط واضحة أشبه بالأقواس، وهى عبارة عن صورة مكبرة للغاية لمجرات خافتة تقبع بعيدا وراء التجمع النجمى [٢٦]. والحقيقة أن بعض المجرات المعروفة على بعد شاسع تم اكتشافها فقط [٦ج] لأن صورها كبرت مع وجود التجمعات النجمية فى مقدمة الصور. وتكشف الدراسات الأكثر تفصيلا أن غالبية المجرات فى خلفيات الصور والتى نشاهدها وراء التجمعات النجمية المكتظة مشوهة على نحو ما وإن لم يكن تشوها بالغا كالأقواس سالفة الذكر[٢٧]. وتتيح هذه البيانات – فى الأساس إعادة رسم علاقة الكثافة بالارتفاع المحسوبة للكتل المتحركة بتأثير الجاذبية عبر التجمع النجمى كله. ويمكن لهذه التقنية أن تمدنا بتقدير مباشر للكمية الكلية من المادة (المادة المعتمة أساسا). بل لقد أظهرت بالفعل أن هذه المادة مركزة بقوة وبصورة تدعو إلى الدهشة فى المركز. فإذا ربطنا الاستدلالات التى تزودنا بها ظاهرة الانحراف بتأثير الجاذبية كفعل العدسة المحدبة[*]، بالبيانات التى يمدنا بها الرصد المتطور بالضوء وبالأشعة السينية، فإن بحوزة الفلكيين الآن صورة أكثر إحكاما وتفصيلا عن ديناميكيات التجمعات النجمية وتراكيبها الداخلية.

(*) انظر شكل (١١).

من المصطلح عليه أن يعبر عن كثافة الكون المتوسطة بدلالة معامل الكثافة (ى) أو أوميجا، وهو عدد دون أبعاد يعبر عن الكثافة الفعلية ككسر من الكثافة الكونية الحرجة(**) (٣/٨ ط ج ن ـه ٢) ـ١، حيث نـه هو زمن هابل. ويصل مقدار المادة المعتمة التى استدل عليها فى الهالات المجرية، والتجمهرات والتجمعات النجمية بالكثافة إلى زهاء ١٠ إلى ٢٠ فى المائة من الكثافة الحرجة (أى أن ى = ١,٠ إلى ٢,٠). ولعل أهم قضايا علم الفلك المختص بما فوق المجرات هى طبيعة هذه المادة المعتمة وما إذا كانت مقادير منها ما زالت هناك بين التجمعات النجمية تكفل رفع قيمة المعيار (ى) أو أوميجا إلى الواحد الصحيح.

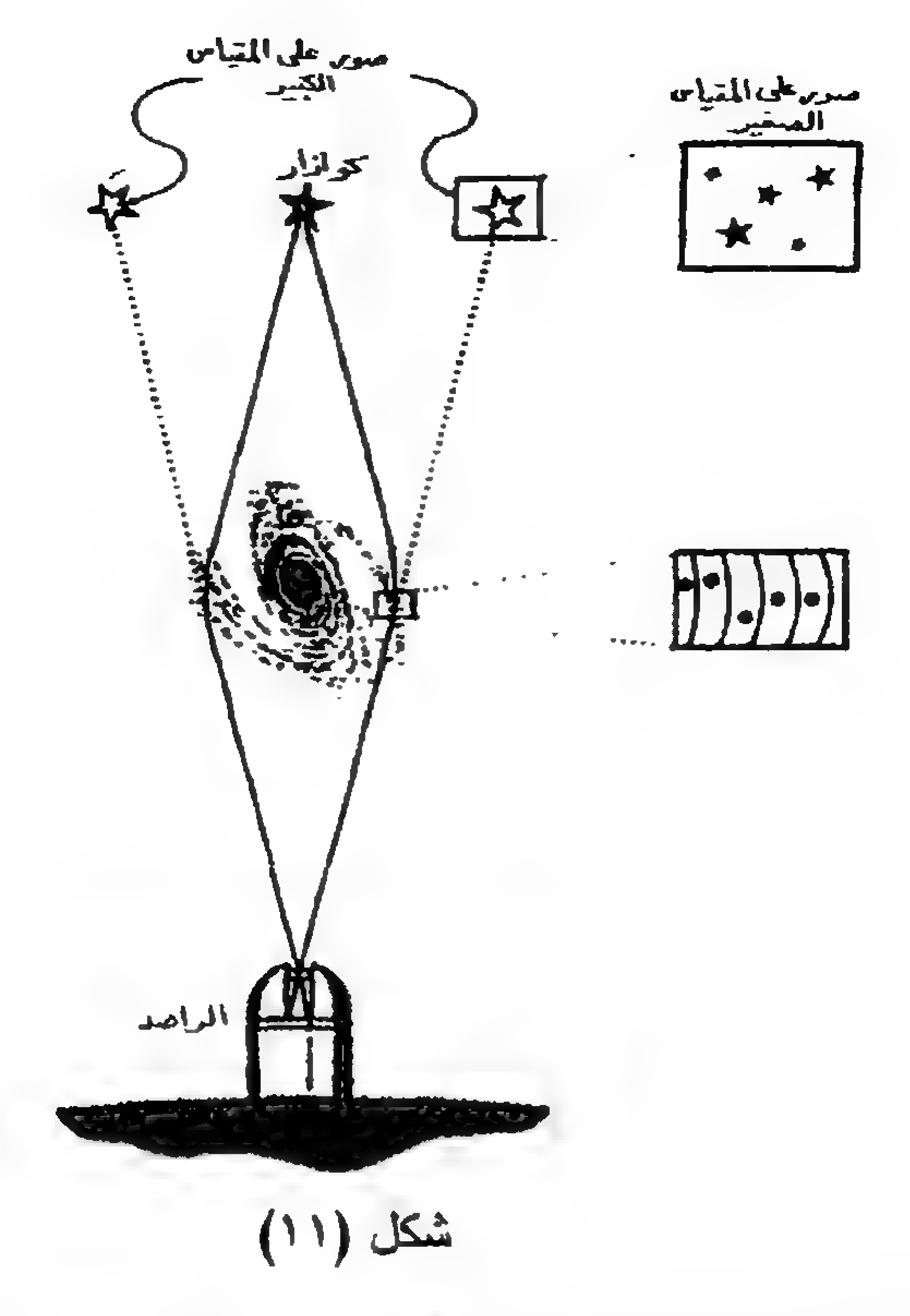
٢ ـ ٤ ما عسى أن تكون هذه المادة المعتمة!

٢- ٤- ١ النجوم خفيفة الكتلة وبقيات الأجرام فائقة الكتلة:

إن أول التخمينات، وأكثرها تحفظا هو أن المادة المعتمة فى مجرتنا موجودة فى النجوم ذات الكتلة متناهية الصغر بحيث لا تكفى لإضرام الوقود النووى بمراكزها. ويتعين أن تقل كتلة مثل هذه النجوم والمسماة بالأقزام البنية Brown dwarfs أو الجوبيترات Jupiters عن ٧٪ من كتلة الشمس، بحيث يفلتها خفوتها من الرصد بالطرق الفلكية التقليدية[٢٨].

وحتى لو لم تبعث الأقزام البنية أى إشعاع (بصرف النظر عما يفترض من إصدارها لأشعة تحت حمراء شديدة الخفوت) فإنها تستطيع أن توارى نفسها أساسا عن طريق تأثير العدسة المحدبة الجذبوى على الضوء القادم من نجم يقع خلفها. وضوئيات العدسة المحدبة عن طريق جسم مدمج واحد بسيطة للغاية (شكل ١١).

(**) الكثافة الكونية الحرجة: هى قيمة الكثافة ث ح التى تتساوى عندها طاقة حركة مجرة ما مع طاقة وضعها فإذا كانت ك هى كتلة المجرة، كـ كتلة مجموعة المجرات، فإن ١/٢ ك ع٢ = ج ك كـ ÷ نق، حيث كـ = ٤/٣ ط نق ٣. ث ح وطبقا لقانون هابل ع = هـ. نق، فيكون ١/٢ ك (هـ. نق)٢ = ج ك ÷ نق × ٤/٣ ط نق٣ ث ح وبالتالى تكون الكثافة الكونية الحرجة= ٣ هـ .٢ ÷ ٨ ط ج أو (٣/٨ ط ج هـ. ٢) ـ ١ (المترجم)



شكل (١١)

عندما تعترض مجرة طريق الضوء الآتى لنا من شبه النجم فإن مسار هذا الضوء ينحرف بفعل جاذبية المجرة عن السير فى خط مستقيم مقتربا إلى الداخل (مثلما تتجمع الأشعة المتوازية عند مرورها خلال عدسة شفافة محدبة، لذا يسمى هذا الانحراف بتأثير العدسة المحدبة الجذبوى). وتفصل بين الصورتين الواصلتين من الناحيتين حول المجرة بضع ثوان قوسية. فإذا كانت كتلة المجرة (مع هالتها) $ك_١$، فإن كل صورة سوف تنحرف، ويصل الانحراف على المقياس الزاوى إلى $١٠^{-٦}$ $(ك_١ \div ك_ش)^{١/٢}$ ثانية قوسية. (منقولة عن ريفسدال، إس سانديج ١٩٩٤ – مجلة الفيزياء ٥٦ – ص ١١٧.

ويعتمد الشكل الهندسى على نسب المسافات بين العدسة ومصدر الضوء الخلفى. على كل حال وفى الحالة البسيطة، تقع العدسة فى منتصف المسافة على امتداد المستقيم الواصل من النجم على بعد ف. ويقتضى التفريق resolution الوقوع فى نطاق زاوية و= ك $_{١}$ كتلة الهالة مع مجرتها، س سرعة الضوء، ف بعد النجم و= $\sqrt{\frac{\text{٤ج ل}^{١}}{\text{س}^{٢}\text{ف}}}$ حيث ج الثابت الجنبوى العام، ك$_{١}$ كتلة الهالة مع مجرتها، س سرعة الضوء، ف بُعد النجم. وتميز الزاوية (و) بالمثل الفاصل ما بين الصورتين اللتين تتكونان فى الحالة البسيطة من تأثير العدسة المحدبة lensing الحادث بسبب كتلة مدمجة (ك$_{١}$) ويمكن للأشياء فى هالة مجرتنا أن تكون صورا من جراء تأثير العدسة المحدبة هذا، للنجوم فى السحب الماجلانية (عبارة عن مجرتين صغيرتين غير منتظمتين بمثابة تابعتين لمجرتنا، تبعدان عنا بنحو ٥٠ كيلو بارسك) وسيكون للزاوية (و) عندئذ القيمة $١٠^{-٤}$ (ك$_{١}$÷ك$_{ش}$)$^{١/٢}$ ثانية قوسية. وعندما تكون ك أقل مـــن ك$_{ش}$ فإن هذه الزاوية تكون من الضآلة بحيث يصعب الفصل بين الصورتين ضوئيا، وإن كان بمقدور المرء العثور على نماذج من "تأثير العدسة المحدبة" بمشاهدة الارتفاع ثم الانخفاض المتميزين فى التكبير عندما يتحرك جرم ما فى الهالة تقريبا عبر خط النظر إلى النجم الذى فى الخلفية[٢٩]. ولسوء الحظ حتى لو ساهمت نجوم قليلة الكتلة بكل المادة المعتمة فى هالة مجرتنا، فإن احتمال حدوث تأثير عدسة محدبة ملموس، فى أية لحظة، على امتداد خط نمطى لا يصل إلا إلى ٣×١٠^{-٧} (لا تتوقف هذه القيمة على ك$_{١}$، لأن المقطع الذى يحدث فيه تأثير العدسة يتناسب مع ك$_{١}$، فى حين أن عدد الأجرام المتوقع إحداثها لتأثير العدسة واللازمة لتعويض مادة الهالة القاتمة تتناسب عكسيا مع ك$_{١}$، ولتحين الفرصة لاستشعار هذا التأثير ينبغى على الشخص المواظبة على المحاولة لفترات مديدة للغاية، والأكثر تفاؤلا المواظبة على مد النظر إلى الملايين من النجوم المختلفة. وفى السنوات الأخيرة تم وضع برامج ممنهجة للتسجيل المنظم لدرجة لمعان ملايين النجوم فى السحابة الماجلانية الكبرى.

تكشف هذه البرامج بطبيعة الحال الآلاف من النجوم المتغيرة من أنواع مختلفة. ويكمن التحدى فى كيفية التوصل إلى التغير ذى الطبيعة المتماثلة من حيث وتيرة تدرج التغير ما بين الارتفاع والانخفاض بتأثير العدسة لا يعتمد بدوره على اللون، بما يعنى أن تكون سعة الذبذبة هى هى لكلا الضوءين الأزرق والأحمر. ولقد تم تسجيل أول مشاهدة موثوق فيها لتأثير العدسة عام ١٩٩٣: إذ عثر على نجم يتزايد لمعانه ثم يخبو فى توقيتات تتفق مع ما يتوقع إذا ما تداخل جرم ما وتحرك بانتظام عبر خط البصر. ولقد وصل معامل زيادة اللمعان عند ذروته إلى الرقم ٧، وكان لمنحنى الاستضاءة نفس التدرج لكلا الضوءين الأحمر والأزرق. وقد هدف البحث التالى لذلك إلى تجميع بيانات تكفل الإجابة على سؤالين محوريين: ماذا عساها تكون هذه الأجرام التى تحدث "تأثير العدسة" هذا (وبصفة خاصة، ما هو مقدار كتلة كل منها على حدة)؟ وما النسبة التى تسهم بها هذه الأجرام – مجتمعة – فى تكوين المادة المعتمة فى الهالة المجرية؟

وحتى وقت كتابة هذه السطور، ما زالت الإجابة على هذين السؤالين مبهمة إلى حد ما، حتى رغم أن عدد حالات الرصد الموثوق بها قد تضاعف[٣٠أ]. فإذا عرفنا موقع الأجرام التى تسبب التأثير العدسى عبر خط المشاهدة، وسرعة تحركها فى الاتجاه العرضى، أمكن الاستدلال على كتلتها مباشرة وذلك لأن المقيـاس الـزاوى للتـأثير العدسى (أى مقدرًا بالدرجات)، بالنسبة لشكل هندسى ما يتغير مع $\sqrt{ك1}$ ، وبنفس المعدل تتغير فترة التأثير العدسى. ولكن حتى إذا كانت كتلة الأجرام التى تسبب التأثير العدسى متماثلة فمن المتوقع أن تتباين فترات ذلك التأثير عبر نطاق عريض، ففترة التأثير تتوقف على موقع العدسة (الافتراضية) على طول خط الرصد، وعلى اتجاه حركتها. فعلى سبيل المثال حتى لو كانت $ك_1$ صغيرة، فإن فترة التأثير العدسى ستطول فى بعض الحالات بسبب الأجرام الموجودة فى الهالة التى يتصادف أن يكون اتجاه سرعاتها متطابقا بالتقريب مع اتجاه إبصارنا خلال عملية الرصد.

وهناك جرمان يستدل على أن كتلتهما حوالى ٠,٥ ك ش -إذا كانا ينتميان إلى التجمع النجمى داخل الهالة. وهما أكبر كثيرا من أن ينتميا إلى "طائفة الأقزام"، ولكنهما كذلك أقل كثيرا من أن يعتبرا ثقبين أسودين (والثقب الأسود يمثل نقطة النهاية فى رحلة تطور نجم ما). وتتطابق كتل هذه الأجرام مع حالة "الأقزام البيضاء"(*)، بيد أننا فى هذه الحالة فى حاجة إلى التسليم جدلا بأن هالتنا المجرية كانت تحوى فى الأصل عددا هائلا من النجوم تفوق كتلة كل منها كتلة شمسنا ببضعة أضعاف. ويصعب علينا التوفيق بين هذا الافتراض وبين الدلائل الأخرى على تطور المجرات. ومن ناحية أخرى يثور الشك فى أن الأجرام المتسببة فى التأثير العدسى قد تكون واقعة - مثلها مثل النجوم التى فى خلفية الصورة المرصودة - فى السحب الماجلانية. وفى هذه الحالة فإن السرعات فى الاتجاه العرضى كان يجب أن تكون أقل، وكان يجب أن تقل الأرقام الدالة على كتلة الأجرام التى تسبب التأثير العدسى.

ينبغى علينا الانتظار لمزيد من البيانات قبل أن نعلم على وجه اليقين كم هناك من الأجرام المعتمة ذات الكتلة التى تماثل كتل النجوم، وما النسبة التى تسهم بها فى كتلة الهالة الإجمالية، بل وما عساه أن يكون كنهها. على أية حال فإننا الآن متيقنون بصورة مطلقة من أن الظاهرة العدسية يمكن تمييزها عن غيرها من مسببات أنواع النجوم ذات اللمعان المتغير. وقد كشف برنامج مستقل لأرصاد وُجهت صوب مركز مجرتنا عن عشرات الحالات (وإن كانت هناك ظلال من الشك الطفيف حول هذه الحالات فى أن الأجرام المسببة للتأثير العدسى هى فى الأساس نجوم اعتيادية). ونحن فى ارتقاب المزيد من المعلومات فى السنوات القليلة القادمة من قاعدة البيانات التى بدأنا فى تجميعها عن طريق برامج أرصاد عالية التقنية (وإن كانت باهظة التكاليف).

(*) القزم الأبيض هو نجيم باهت اللمعان شديد الكثافة، إذ تضارع كتلته كتلة الشمس فى حين يضاهى حجمه حجم الأرض. يعتبر القزم الأبيض آخر مراحل تطور النجوم صغيرة الكتلة نسبيا بعد مرورها بمرحلة العملاق الأحمر (red giant) (المترجم)

ومن المرشحين الآخرين الذين كثرت المناقشات حولهم باعتبارهم مصدرًا للمادة المعتمة، الثقوب السوداء، وهى بمثابة البقايا من تجمعات افتراضية من نجوم بالغة الثقل، لعلها تكونت فى مرحلة مبكرة من تاريخ المجرات [٢٨، ٣١]. وهذه البقايا المسماة بالأجرام فائقة الكتلة "very massive objects" أو اختصارا "VMO" قد تتوافق مع أغلب الأدلة الفلكية والفيزيائية إذا كانت كتلتها تقع ما بين ١٠٠٠، مليون $ك_ش$. وكما سبق أن ذكرنا فإن احتمال حصول الظاهرة العدسية لدى توقيت بعينه يعتمد على كتل الأجرام – كل على حدة – التى تتكون منها الهالة. وعلى أية حال فإن الأمل فى استشعار هذه الظاهرة أضعف من الأمل فى العثور على "أقزام بنية"، لأن حالات الظاهرة العدسية المنفردة أبطأ وأقل تكرارا فى حالة الأجرام فائقة الكتلة، وسيطول الوقت بالشخص الراصد حتى يستشعر ولو واحدًا منها، إذ أن هذا الوقت يتناسب مع $\sqrt{ك1}$.

٢- ٤- ٢ الظاهرة العدسية متناهية الصغر عبر المسافات الشاسعة على المقياس الكونى:

لكتلة محددة ك١، تتناسب زاوية الظاهرة العدسية (و) طرديا مع $\sqrt{\frac{1}{ف}}$ حيث ف هى المسافة (انظر شكل ١١). ومن ثم فإن مساحة المقطع الذى تحدث فيه الظاهرة العدسية بتأثير كتلة ما والذى يتناسب طرديا مع (وف)٢، يتزايد بنفس معدل تزايد ف. فلنفترض تأسيسا على ذلك، أننا – بدلا من النظر إلى نجم فى السحب الماجلانية – نرصد شبه نجم (كوازارا) على مسافة ٥×١٠ ٩ بارسك منا، أى نحو مائة ألف ضعف المسافة إلى هذه السحب. فلو أن مجرة – كمجرتنا – تقع فى منتصف المسافة بيننا وبين شبه النجم هذا، فإن الفرصة فى أن واحدا من الأجرام فى هالة المجرة النائية هذه سيحدث تأثيرا عدسيا فى الكوازار هى ٣% (سيكون الاحتمال حتى أكبر من ذلك لو مر خط الإبصار خلال الجزء الداخلى من هالة المجرة). والمقياس الزمنى المميز هنا أطول (فهو يتناسب مع ف٢/١) ولكنه يظل فى حدود سنوات فى حالة الأقزام البنية. وعلى ذلك فمن الأسهل استشعار الظاهرة العدسية من خلال قزم بنى فى مجرة تقع فى منتصف مسافة تمتد حتى نصف قطر هابل(*)، من استشعارها فى هالة مجرتنا نحن. على أية حال فإن هذه المزية توازنها صعوبات مناظرة، إذ تصعب مراقبة أعداد كبيرة من الكوازارات عن مراقبة أعداد غفيرة من النجوم. وعلاوة على ذلك فمقدار الزاوية الحقيقى حتى مع أكثر أجزاء شبه النجم تكتلا لا يمكن افتراض أنها أقل من القيمة المتوقعة للزاوية (و) والتى تبلغ قيمتها، فى حالة زيادة المسافة ف عن ١٠ ٩ بارسك، أقل من ١٠ -٦ ثانية قوسية فى حالة القزم البنى (٣٢). وهناك محددات إحصائية خاصة بطبيعة تغير الكوازار تضع حدا أقصى لمقدار مساهمة الأجرام الدخيلة فى المعامل (ى) (**) (٣٢أ).

(*) نصف قطر هابل هو للتبسيط نصف قطر الجزء من الكون الذى بمقدورنا رصده، أو هو كما ذكرنا سابقا المسافة التى تصل عندها سرعة تباعد المجرات نظريا لسرعة الضوء، وقيمة نصف قطر هابل تقريبا ١٠ ٢٧سم. (= سرعة الضوء÷ ثابت هابل) المترجم

(**) المعامل ى أو أوميجا هو النسبة ما بين كثافة الكون الفعلية والكثافة الحرجة(يرجى الرجوع لبند ٢- ٣- ٢). المترجم

والتغير المتوقع فى اللمعان بالنسبة لبقايا الأجرام فائقة الكتلة أبطأ من أن يتم استشعاره على مدى الأعمار البشرية. على أية حال فإن ظاهرة العدسة المحدبة التى تسببها هذه الأجرام (والتى تصل معها قيمة الزاوية (و) ما بين ٠٠١و٠، ٠٠٠١و٠ ثانية قوسية) يمكن أن تكشف عن نفسها من خلال التشوه فى الخلفية التى يمكن مسحها بتقنيات (قياس التداخل الطويل جدا عبر الخط الأساسى) (*) very Long baseline interferometery VLBI بدقة تتجاوز ٠٠١,٠ ثانية قوسية.(٣٣، ٣٤).

٢- ٤- ٣ المادة غير الباريونية:

تعتبر بقايا الأجرام فائقة الكتلة VMO، شأنها شأن "الأقزام البنية" من المواد الباريونية ويحدد معيار الاندماج النووى الأولى (شكل ٤) قيمة النسبة ما بين الباريونات والفوتونات (ت)، ومن ثم فإنه يضع حدا أقصى يصل إلى نحو ١,٠ هـــ .٥ ^-٢^، للمساهمة التى تشترك بها مادة الباريونات فى القيمة (ى) حيث هـــ .٥ هو ثابت هابل(**). طبقا لوحدات ٥٠ كم/ث. لكل ميجابارسك. وأفضل تقدير لمدى وفرة الديتيريوم هو نحو ٠٦,٠ هـــ .٥ ^-٢^، وبهذا الحد الأقصى، وبدرجة معقولة من الترابط يمكن تجاوزًا –اعتبار هالات المجرات المفردة باريونية. ومن جهة أخرى، فإن المقدار الكلى للمادة المعتمة، وكما يستدل عليه من التجمعات والتجمهرات العظمى (وإن كان ما تم رصده. منها لا يسمح بتحديده بدرجة دقيقة) يتجاوز هذا الحد، حتى باعتبار الحد الأدنى الموثوق به من التقديرات لقيمة هـــ.٥.

(*) نظام VLBI: يقصد به نظام تجميع الأرصاد لنفس الجرم فى ذات الوقت من مرقبين راديويين متباعدين (فى قارتين مختلفتين مثلا). (المترجم)

(**) سبق القول بأن ثابت هابل هـــ هو المعامل الذى يربط ما بين سرعة تباعد المجرات (مقدرة بالكيلومتر فى الثانية) والمسافة التى تفصلها عنا مقدرة بالميجابارسك. وطبقا لأحدث القياسات (عام ٢٠٠٩) تقدر قيمة هذا المعامل بنحو ٢و٧٤± ٦و٣ كم/ث لكل ميجا بارسك. (المترجم)

ومن يحتاج النموذج القياسى لعملية التكون النووى الأولى لمراجعة شاملة لتحديد ما إذا كان أغلب المادة المعتمة باريونات. (هناك نماذج غير قياسية بعينها، يفترض طبقا لها، أن الباريونات قد تكتلت على مقاييس أصغر من طول انتشار النيوترونات فى وقت حدوث التفاعلات النووية ومن ثم تسمح بقيمة أعلى قليلا لـــ (ى ب) (*). على أية حالة فإن الآمال المبكرة [٣٤] فى أن تيسر لنا هذه النماذج الأكثـــر تـــراكبا نطاقا أعرض من قيم الكثافات التى يمكن قبولها، سابقة لأوانها.. إذ لم يقع بعد ما يؤيدها[٣٥] كما لا يتوافر – بشكل كاف – الدليل الفيزيائى على الافتراضات التى تدعمها.

فهلم بنا إذن إلى المرشح الآخر لتفسير المادة المعتمة: المادة غير الباريونية (فهى أكثر إثارة لشغف الفيزيائيين على كل حال). وأكثر بدائلها وضوحا هى النيوترينوهات. فإذا كانت درجة الحرارة لدى بدء الانفجار الأعظم أكبر من $١٠^{١١}$ درجة على مقياس كلفن، فلا بد وأن النيوترينوهات قد وصلت إلى اتزان حرارى مع الفوتونات، ولا بد وأن كثافة كل فصيلة من النيوترينو بلغت $^{٣}/_{١١}$ من كثافة الفوتون. وهذا الكسر $^{٣}/_{١١}$ هو حاصل ضرب عاملين: $^{٣}/_{٤}$ (لأن النيوترينوهات عبارة عن فيرميونات أكثر منها بوزونات)، $^{٤}/_{١١}$ (الـــذى هو مقلوب معامل التفانى (**) الحادث بين الإلكترونات والبوزيترونات (والذى يحدث عندما تهبط درجة الحرارة (د) عن ك $_{ز}$ س^{٢}÷ بو أى حوالى ٥×$١٠^{٩}$ درجة مطلقة) (***) والذى من شأنه أن يرفع مـــن كثافة الفوتونات. فكل طائفة مـــن النيوترينوهات ينبغى تبعا لذلك أن يكون لها كثافة متوسطة ١و١×$١٠^{٨}$ متر$^{-٣}$. (فى الواقع يصدق هذا

(*) تمثل ى ب الجزء الذى تسهم به الباريونات فى المعامل ى. (المترجم)

(**) التفانى annihilation : ظاهرة فى الفيزياء الذرية حين يلتقى جسيم بجسيمه المضاد فيحاول كل منهما إفناء الآخر، ويتحولان إلى طاقة تساوى تقريبا مجموع كتلتيهما. (المترجم)

(***) ك ز هى كتلة الإلكترون، س هى سرعة الضوء فى الفراغ، بو هى ثابت بولتزمان = ٣٨و١× ١٠-٢٣ جول/ درجة كلفن وهو معامل فيزيائى يحدد الاحتمال النسبى لحدوث حالة معينة من ضمن مجموعة حالات فى حالة من الاتزان الحرارى ودرجة الحرارة. (المترجم)

فقط إذا كانت الكتل أقل من ١ ميجا إلكترون فولت وإلا لخفض الحد الدال على الكتلة فى معامل بولتزمان Boltzmann Factor العدد قبل انفصالها عن الفوتونات وثنائيات الإلكترون – البوزيترون، مع افتراض أن جميع النيوترينوهات مستقرة بطبيعة الحال) ونظرا لأن عدد النيوترينوهات يتخطى بمراحل عدد الباريونات فى نموذج "الانفجار الأعظم الساخن" فإنها ليست بحاجة لمقدار كبير من الكتلة الساكنة rest mass، كى يكون لها تأثير تراكمى مهم على ديناميكيات الكون، ويمكنها أن تسهم بكل المادة اللازمة للوصول للكثافة الحرجة إذا كانت كتلتها ٢٣ هـــ .٥ [٢]. إلكترون فولت.

منذ سنوات عديدة، حدس كاوسيك وما كليلاند[٣٦]، وماركس وسزالاى[٣٧] أن النيوترينوهات ربما تكون هى مصدر المادة المعتمة فى الهالات المجرية والعناقيد النجمية. فى ذلك الوقت لم يجر تمحيص هذا الاقتراح على نحو عميق، ولكن فى بواكير عقد الثمانينيات كان الفيزيائيون من سعة الأفق نحو تقبل فكرة أن للنيوترينوهات كتلة (وعلاوة على ذلك، حددت تجربة أجراها ليوبيموف وآخرون[٣٨] – تم تجاهلها فيما بعد – للإلكترون – النيوترينو كتلة مقدارها ٣٦ إلكترون فولت). ويأتى حديثا دليل مثير من جهاز الاستشعار التحت الأرضى "كاميوكاند" فى اليابان. فسلوك النيوترينوهات الناجمة عن ارتطامات الأشعة الكونية بالغلاف الجوى يشير إلى وجود كتلة لها، وإن تكن بالغة الضآلة (حوالى $١٠^{-٢}$ إلكترون فولت) بحيث إنها لا تمثل أهمية على المقياس الكونى.

لقد حظى (النيوترينو) بشرف التأكيد على وجوده، ولكن لدى الفيزيائيين النظريين قائمة طويلة بالجسيمات الافتراضية التى قد يكون الأجل قد امتد بها وبالأعداد المطلوبة منذ فترة الكون المبكر. وأحد الاحتمالات التى تناولها النقاش على نطاق واسع "الجسيمات الكثيفة ذات التأثير المتبادل الضعيف" weakly interacting massive particles (الومبات WIMPS) والتى تنبأت بوجودها

نظريات التماثل الفائق(*) supersymmetric theories. فإذا كانت الومبات هى المادة المعتمة المتحكمة فى هالة مجرتنا فلا بد وأن كثافتها الموضعية فى حدود ١٠% من معكوس نسبة كتلة الومبات إلى كتلة البروتون ٠,١ $(ك_{و} \div ك_{ب})^{-١}$ سم$^{-٣}$.

ولا بد وأنها تتحرك بسرعة نمطية للهالة تبلغ حوالى ٣٠٠ كيلومتر فى الثانية. وتأتى فى الطريق محاولات لعدة مجموعات علمية للتنقيب عن (الومبات) بتلمس العودة إلى الأحداث نادرة الوقوع عندما يؤثر أحد هذه الجسيمات تأثيرا تبادليا مع نواة ما [٣٨]. فمساحات مقاطع(**) هذا التأثير المتبادل الضعيف منخفضة للغاية، وتتوقف المعدلات المتوقعة على افتراضات معينة وعلى نوع المادة المستهدفة، وهذه المعدلات لا تزيد – كنمط عام – عن عدد قليل من المرات فى اليوم لكل كيلو جرام من مادة الاستشعار. غير أن النشاط الإشعاعى الداخلى للمعدات المستخدمة والميونات المتولدة(***) من الأشعة الكونية يشكل عائقا عارضا وثانويا لهذه البحوث.

ولذا وجب أن تجرى هذه التجارب عميقا فى باطن الأرض، فلا تشارك الهالة فى دوران قرص مجرتنا. ومن ثم سيغلب على الميونات القدوم من اتجاه يمكن التنبؤ به. وعلاوة على ذلك حتى إذا استعملت مواد استشعار لا تعطى معلومات عن الاتجاه فما زال هناك تشخيص لا لبس فيه يمكن به تمييز الإشارة التى تحدثها الومبات بالأصالة عن غيرها من الأحداث الخلفية. ومعدل التأثير المتبادل المتنبأ به نتيجة الومبات حساس بالنسبة للسرعة، ومعدل الحدث المتوسط

(*) نظرية التماثل الفائق supersymmetry أحد بدائل نظرية الأوتار الكونية حيث تقع كل أصناف الجسيمات الأولية على قدم المساواة، وتعنى فى السياق الفلكى إمكانية تطبيق خصائص المادة كما نعهدها حاليا، على مراحل الكون المبكرة للغاية وسيتم بحث فكرة الأوتار الكونية فى الفصل الخامس (بند ٥– ٤) من الكتاب. (المترجم)

(**) يقصد بمصطلح مساحة المقطع هنا مدى احتمالية التصادم بين جسمين أوليين. (المترجم)

(***) الميون muon : جسيم أولى مماثل للإلكترون –أخف الجسيمات بعد الإلكترون وكتلته تماثله ٢٠٧ مرة) (المترجم)

يكون له تغير سنوى، إذ إن سرعة الأرض بالنسبة للهالة تتغير مع دوران الأرض حول الشمس. والتذبذب السنوى المتوقع، مع وصوله إلى الحد الأعلى فى يونيو وحده الأدنى فى ديسمبر، وبسعة ذبذبة فى حدود أجزاء من المائة، ستميز – دونما التباس– الأحداث المجلوبة بالومبات عن الخلفيات الأخرى. ولن يأمل حتى الشخص المتفائل فى نتائج إيجابية من هذه التجارب بأكثر من نسبة ٥٠%. إلا أن الهدف جدير بالسعى إليه، فالنجاح لن يؤدى بنا فقط إلى معرفة ما يتركب منه الكون، لكنه أيضا سيكشف عن طائفة جديدة من الجسيمات الأولية [٣٨، ٣٩].

والأكسيونات(*) axions هى مرشح آخر طال النقاش حوله (بوصفها مصدرًا للمادة المعتمة)، بل إن هناك ولعا بإجراء تجارب بحثية عنها عن طريق التحويل إلى فوتونات أو بالتأثير المتبادل بينها وبين مادة ذات مجال مغناطيسى قوى. ولا تبدو الآمال والبدايات فى هذا السبيل مشجعة، بالقياس إلى الومبات، لأن الفوتونات ستكون فى مدى ضيق من الطاقة، بالنظر إلى قلة معلوماتنا عن كتلة الأكسيون. ومن ثم فعلينا البحث والتفتيش عن نطاق عريض من طاقات الفوتون (يشمل نطاقات المليمترات وأطوال الأشعة تحت الحمراء [٣٨، ٤٠].

٢– ٥ كيف يتيسر التمييز بين البدائل المرشحة بوصفها مصدرا للمادة المعتمة:

ليس مما يدعو للاندهاش أن يتكون معظم الكون من المادة المعتمة. فما من سبب يدعو للاعتقاد بوجوب أن (يلمع) كل شىء. وليس من الصعوبة التفكير فى البدائل المحتملة والمرشحة لذلك. وتبقى مشكلة التمييز بين قائمة طويلة من الممكنات. ومن الواضح أن الاستشعار المباشر هو أنظف فيصل قاطع فى هذا التمييز، والأجرام النجمية المعتمة فى الهالة المجرية يمكن أن تسفر عن نفسها عن

(*) الأكسيون axion: بوزون افتراضى بدون شحنة أو دوران ذو كتلة صغيرة. افترض وجوده لشرح التماثل فى القوى النووية الشديدة. (المترجم)

طريق التأثير الجذبوى العدسى (على نطاق بالغ الصغر). فالجسيمات الجليية من الخارج التى تتخلل المجرة (وبالتالى تنفذ باستمرار داخل كل مختبراتنا) يمكن استشعارها عن طريق التجارب بالغة الحساسية.

كان المغفور له الأستاذ ريدمان Redman من كمبريدج عالم أرصاد مرموقا، يميل إلى التجريب وينأى عن الحدس والتخمين. وكان ينوه بأن أى عالم فيزياء كونية ذى كفاءة بمقدوره أن يوفق بين أية نظرية وأية أرصاد فلكية جديدة. بل إن هناك زميلا أكثر ميلا إلى النقد تمادى فى هذا الاتجاه، مؤكدا أن عالم الفيزياء الفلكية ليس بحاجة حتى إلى أية كفاءة. ولقد ضرب أصحاب نظريات المادة المعتمة أمثلة "لمبرهنة" ريدمان هذه ولا متداداتها أيضا. ولكن لعل البحوث تتمخض عن نتائج إيجابية فى القريب العاجل. وعلى أية حال تحد ضوابط متنوعة من البدائل الممكن الدفاع عنها. وليس من قبيل التفكير الحالم أو الخيال أن نتوقع احتمال وجود أكثر من نوع واحد مهم من المادة المعتمة. فعلى سبيل المثال يحتمل أن تحكم المادة المعتمة غير البـاريـونية ديناميكيات العناقيد النجمية الضخمة أو ما فوق التجمعات العنقودية حتى ولو احتوت الهالات المجرية المفردة قدرا من الأقزام البنية أو الأجرام فائقة الكتلة.

وإذا تمكنت تقنيات علم الفلك من إماطة اللثام عن كنه بعض الجسيمات الرئيسية من تلك التى تنبأ العلماء النظريون بوجودها، فسيكون لذلك طرافته بصورة خاصة. وإذا ما تبين أن هذه الجسيمات هى الممثلة للمادة المعتمة، فعلينا أن نوجه نظرنا شطر المجرات، والنجوم وإلى ذواتنا نفسها فى منظور ذى تسلسل تنازلى. لقد خلع كوبرنيكوس كوكب الأرض عن عرش مركزية الكون. وفى بواكير القرن العشرين أنزلنا "شابلى" و"هابل" عن رتبة أى موضع متميز ذى حظوة فى فضاء الكون. أما الآن فربما لزم لنا أن نتخلى عن (الانحياز) للباريونات. فالبروتونات والنيوترونات والإلكترونات التى تكون كل عالم الأفلاك ربما كانت كلها نوعا من الأفكار الجامحة فى كون تهيمن فيه "الفوتينوهات"

و"النيوترينوهات" على كل أوجه الحركة. لعل المجرات العظمى ما هى إلا برك صغيرة من الرواسب فى سحابة من مادة غير مرئية أكبر فى كتلتها وانتشارها بعشر مرات.

وبصرف النظر عن الاستشعار المباشر فهناك نهجان آخران يمكن عن طريقهما تضييق مجال البحث عن المادة المعتمة:

أ- سنستعين بلا شك بالفيزياء الأساسية. فنحن لا زلنا لا نعرف أى نوع من الجسيمات فى عالم "التماثل الفائق" كان موجودا فى أكثر مراحل نشأة الكون تبكيرا، ولا نعرف ما هى مساحة مقاطعها لإفناء بعضها بعضا. بيد أننا إذا عرفنا الكتلة ومساحة مقاطع الإفناء لكل طائفة (مع مراعاة أية أفضلية ممكنة للجسيمات على حساب الجسيمات المضادة)، أمكننا من ناحية المبدأ حساب كم منها سينجو من الفناء. وعندما يخبرنا (أو إن أخبرنا) بذلك التقدم النظرى أو بيانات مسارعات الجسيمات فى النهاية، فإن عدد مثل هذه الجسيمات المتبقية فى كوننا حاليا ومساهمتها فى قيمة المعامل (ى) سيصبح التنبؤ به يقينيا، مثلما نفعل اليوم بالنسبة لنسب الديتيريوم والهليوم.

ب- بوسعنا أن نحسب التضمينات المميزة لكل فرضية من فرضيات نشأة الكون. ولما كانت المادة المعتمة هى المهيمنة فى مجال التثاقل فإن البنى فى الكون -على المقياس الكبير وربما بنى المجرات ذاتها وتكوينها - يحددها فى المقام الأول كيفية تجمعها وتكتلها بتأثير الجاذبية مع تمدد الكون. وفى هذا السياق تنقسم البدائل غير الباريونية (عن أصل المادة المعتمة) إلى فئتين أساسيتين: الحارة والباردة، فالنيوترينوهات ذات طاقة أقل من أو تساوى ٣٠ إلكترون فولت تقع ضمن الطائفة الحارة، بمعنى أنه رغم أنها تتحرك الآن ببطء فقد كانت حركتها الحرارية خلال المراحل المبكرة عالية بما يكفى لانسيابها بحرية، بحيث تكون لها تذبذبات متجانسة على المقياس الصغير. أما الفئة الباردة - وأبرز أمثلتها الجسيمات فائقة التماثل والأكسيونات- فعلى النقيض من ذلك لن يكون لها على

وجه الإطلاق سرعات حرارية ذات وزن يُعتدّ به (فيما عدا الأزمنة التى تقل كثيرا جدا عن الثانية الواحدة) ولا يكون لها ضغط محسوس. ومن ثم فيمكن دمجها ضمن النظم المحبوسة على جميع المقاييس حيث توجد التذبذبات الأولية (وكأنها البذور التى ينبت منها عدم الاستقرار الجذبوى). ويبحث الفصل القادم نشوء بنية الكون.

الباب الثالث

بروز البنية الكونية إلى الوجود

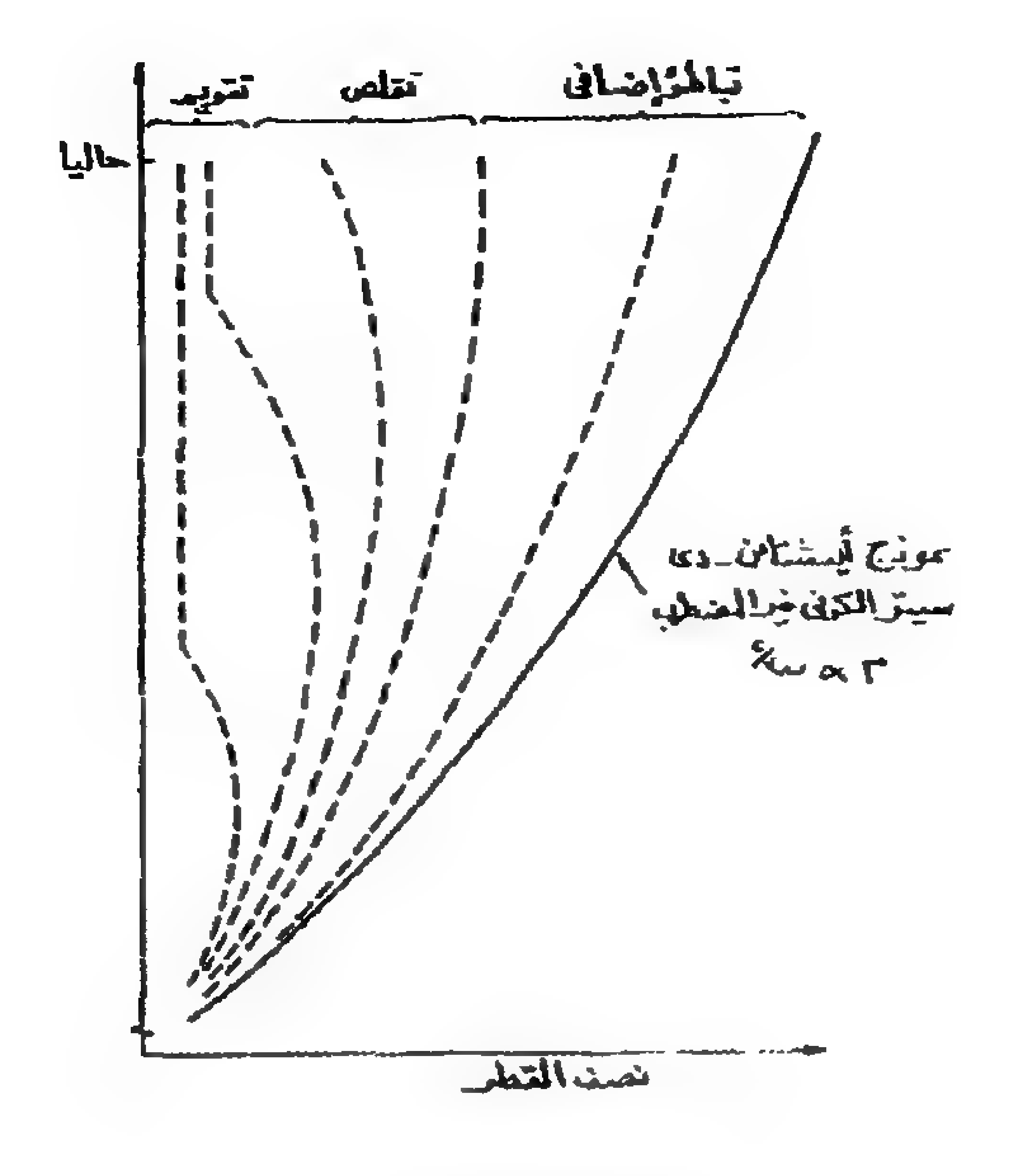
٣-١ عدم الاستقرار الجذبوى:

عندما تقل أهمية معدلات تغير الضغط، فإن التذبذبات الخطية تزيد من عدم انتظام كثافتها مع تمدد الكـــون. فإذا كان المعامل ى = ١، فإن معدل التنامى فى النمـــوذج الخـــطى linear regime يتنـــاسب بـــدقة مع معامل المقياس (م) scale Factor . ولدى القيم الأخرى للمـــعامل ى، يصل تنامى التشوشات الخطية إلى درجة التشبع فى الأحقاب الزمنية الحديثة رغم أن سعتها amplitude تظل فى تناسب مع المعامل م عندمـــا تكون النسبة م ÷ م الآن أقل من ى (يتم التوصل إلى هـــذه النتائج مـــن المعطيـــات النيـــوتونية عند تطبيقها على كرة هائلة الكثافة أو اضطرابات لها طبيعة الموجة الجيبية sine- wave. ويتبع التنامى قانونا للقوى أكثر من اتباعه قانونا أسيًا، لأن كون الخلفية(*) background universe يتمدد بنفس المعدل الزمنى (ج ث)$^{-١/٢}$ الذى تتنامى به التشوشات) وفى أية منطقة تجاوزت الكثافة المضافة لها لدى عودة الاندماج القيمة $١٠^{-٣}$ بمقدار محسوس، كانت ستصبح -فى وقتنا الحالى- غير خطية وتنخرط فى نظم مقيدة (محكومة). وبوسعنا أن نفهم لماذا تتناسب $\frac{\Delta ث}{ث}$ مع م عن طريق آخر، إذا لاحظنا أن منحدرات الضغط لا تكون ذات أثر فعال، وأن الذبذبات المترية (أو النقص فى الطاقة لكل وحدة كتلة) التى تصاحب الاضطرابات والتى تتناسب مع ج ك ٢/^{٢} $(\frac{\Delta ث}{ث})$ $م^{-١}$، لا بد وأن تبقى ثابتة خلال التمدد. يبين شكل (١٢) كيفية سلوك أنصاف أقطار

(*) يقصد به مناطق الكون ما بين المجرات والعناقيد.

الكرات ذات الكثافة الفائقة خلال التمدد الكونى، بافتراض إمكان إهمال تأثير الضغط. فإذا كانت الكثافة الزائدة الابتدائية كبيرة، فإن التمدد يتوقف (ولا تعود علاقة الذبذبة خطية) فى أية مرحلة مبكرة، وهناك الكفاية من الوقت لكى ينهار النظام وينشأ اتزان تقويمى Virial equilibrium (مع مثل هذا الاتزان تبلغ الطاقة الرابطة الجذبوية ضعف طاقة الحركة الداخلية. ويقتضى هذا حدوث انهيار بمعامل =٢ عند انعدام طاقة الحركة لدى نقطة الانعكاس). فإذا كانت سعة الذبذبة الابتدائية صغيرة نسبيا، فإن الكرة عندئذ تتوقف عن التمدد وتبدأ فى التقلص نحو الداخل دون المرور بمرحلة التقويم. وفى حالة كرة ذات كثافة زائدة ابتدائية أكثر صغرا فإنها ستستمر فى التمدد رغم أنها ستعانى من زيادة فى التباطؤ، ولن تتحرك الجسيمات المكونة لها بالضبط طبقا لتدفق هابل. وفى الحالة البسيطة من التذبذبات ذات الطابع الكروى فى كون آينشتاين – دى سيتر(*) فإن أى نظام سبق له التقويم لا بد وأن تصل كثافته الآن لأكثر من ٢٠٠ مرة قدر القيمة المتوسطة. والمنظومة التى توقفت عن التمدد وبدأت الآن فى الانكماش ينبغى أن تتجاوز كثافتها ٥ أمثال الكثافة الكونية المتوسطة (والكرة بالطبع هى حالة خاصة غير واقعية. وفى الحالة الأكثر عمومية – حالة المجسم الإهليلجى ellipsoid، يمكن أن يبدأ التقوض على طول محور واحد، بينما يستمر التمدد عبر المحاور الأخرى. ولن يكون هناك وقت تنعدم فيه طاقة الحركة، ومن ثم فليس من شأن هذه المنظومات أن تتقلص بمعامل =٢ لينشأ اتزان تقويمى.

(*) نموذج آينشتاين –دى سيتر: فى عام ١٩٣٢ طرح آينشتاين ودى سيتر نموذجا للكون كحل مقبول فى صورة كون منتظم متجانس دون انحناء – ثابته الكونى صفر وضغطه صفر. (المترجم)



شكل (١٢)

ديناميكيات كرة فائقة الكثافة عند انعدام الضغط فى الكون المتمدد. كلما زاد مقدار الكثافة المضافة الابتدائية، كان توقف تمدد الكرة أكثر تبكيرا. ينبغى أن يكون للمنظومات التى حدث لها تقويم سلفا قيمة ث÷ث ح أكبر من أو تساوى ٢٠٠. أما الآخذة فى التقلص فينبغى أن تتجاوز قيمة ث÷ث ح لها القيمة ٥. لاحظ أن معامل زيادة الكثافة overdensity factor للمنظومات المقيدة أو المتقوضة يجب أن يكون حتى أكبر فى كون يقل فيه المعامل(ى) عن الواحد الصحيح ويقل فيه متوسط الكثافة عن الكثافة الحرجة ثح . وبطبيعة الحال لن تكون الاضطرابات فى الواقع كروية الطابع.

إن الديناميكيات البسيطة التى يصورها هذا الشكل يصح تطبيقها فى سياقين مختلفين – وإن كانا مرتبطين – فإذا تخيلنا كرة مفردة تتكثف حول نقطة مركزية

عالية الكثافة فإن الخطوط المتقطعة بالشكل تمثل سطوحا كروية مختلفة، الداخلية منها لها نصيب أكبر من زيادة الكثافة، وتبكر فى الانهيار، فى حين يلم بالسطوح الخارجية اضطرابات يسيرة، ومن ثم فإنها لا تتباطأ إلا بقدر طفيف. وإذا كان الكون المبكر قد احتوى على طائفة من الاضطرابات الأولية بحيث اتجه متوسط سعة ذبذبة هذا الاضطراب $\langle (\frac{\Delta ث}{ث})^{2} \rangle^{1/2}$ نحو مقاييس أكبر، فبوسعنا أن نستعمل نفس الشكل لنستدل على أن المنظومات الأصغر تميل إلى الوصول إلى اتزان تقويمى، فى حين أن المقاييس الأكبر التى كانت لها إضافات ابتدائية أصغر للكثافة، من شأنها أن تكون أحدث عمرا من الناحية الديناميكية وألا تصل إلى اتزان ديناميكى. ويمكننا عمل نظام محاكاة لنماذج أكثر واقعية لنشأة الكون تفترض تذبذبات عشوائية ذات طيف معين، وذلك بحسابات على مجموعة أجسام متعددة(*) N- body calculations

لعل من المفيد وضع تعريف للعنقود cluster بأنه منظومة تحكمها الجاذبية، وتحقق بها – على الأقل فى مركزها– اتزان تقويمى، فى حين أن العنقود الأعلى supercluster – هو منظومة أكبر – رغم احتمال احتوائها على تكوين داخلى فى حالة اتزان تقويمى– فى حالة أصغر عمرا على وجه العموم من الناحية الديناميكية، ولعلها حتى لا تزال تتمدد بتمدد الكون، وإن يكن بمعدل متباطئ. لا توجد معظم المجرات فى شكل تجمعات عنقودية. وهناك معيار بسيط يقاس به مقدار التجمع على شكل عنقودى، وهـو دالة

(*) هى أسلوب للحسابات لتفسير حركة الأجرام السماوية لعدد من الكتل فى الأبعاد الثلاثة وباعتبار كتلة كل جسم مركزة فى مركزه بحيث يمكن تطبيق الميكانيكا النيوتونية عليه فإذا عرف مكانه وسرعته لدى لحظة ابتدائية من الزمن أمكن تحديد موضعه وسرعته المستقبليتين عند أى وقت، فهى عملية محاكاة لمجموعة متحركة من الأجسام تحت تأثير قوى فيزيائية (كالتثاقل عادة). وفى عالم الفضاء يستعمل هذا الأسلوب لدراسة عمليات بناء التكوينات الكونية مثل عمليات تكون الخيوط المجرية والهالات المجرية من المادة القاتمة وفى دراسة التطور الحركى للعناقيد المجرية (حيث يزيد عدد الأجرام عن ٣). (المترجم)

العلاقة بيـــن موضعى نقطتين Two point correlation function [*]، والتى تقيس الاحتمال الإضافى للعثور على مجرة أخرى لدى مسافة معينة من المجرة الأولى [٤٠]. وتهبط قيمة هذه الدالة عن الواحد الصحيح لدى المسافات التى تزيد عن نحو ١٦ هـــ -١ ميجابارسك، وكنمط سائد ليس هناك سوى عدد محدود من المجرات داخل هذا القطر. والعناقيد الغنية، طبقا لأى سيناريو لعدم الاستقرار من ناحية الجاذبية، كان ينبغى أن تتطور من مناطق، حيث كانت سعة نبذبة الاضطرابات الابتدائية كبيرة بصورة استثنائية بالقياس لمقياس الكتل المناظر (على سبيل المثال ذ > ٣ σ قمة للاضطرابات التى لسعة نبذباتها توزيع جاوس أى توزيع جرسى) [**].

ولا بد أن تكوينات الكون الجلية من مجرات وتجمعات عنقودية وفوق عنقودية – فى المراحل المبكرة والمنضغطه من التمدد الكونى- كانت مجرد مناطق أكثف قليلا، تخلفت ثم انفصلت فى خاتمة المطاف عن عملية التمدد الكونى. ولا بد أن بعض الاضطرابات الأولية التى حدثت قد أسفرت عن تنامى العناقيد النجمية، وإلا لظل الكون حتى وقتنا هذا محض هيدروجين بارد، دونما مجرات، ولا نجوم، ولا كائنات حية. وقد تم عبر السنوات الأخيرة القليلة إجراء عمليات محاكاة عن كيفية تطور تكون العناقيد (التجمعات النجمية) عن طريق الجاذبية. وتتوقف التذبذبات الخطية، التى يتم إدخالها فى بداية عملية المحاكاة، على الافتــراضات الكـــونية، وعلى وجه الخصوص: ما إذا كانت المادة المعتمة (حارة) أو (باردة) وكذلك على ما إذا كان توزيع التذبذبات يتبع توزيع جاوس ذا الشكل الناقوسى.

(*) دالة علاقة بين نقطتين Two point correlation function: هى علاقة بين متغيرين عشوائيين فى نقطتين مختلفتين فى المكان والزمان، وعادة ما تكون دالة فى المسافة أو الزمان بينهما. (المترجم)

(**) منحنى التوزيع الطبيعى (توزيع جاوس أو التوزيع الجرسى): ويقصد به تركز الأغلبية (المعظم) فى الوسط وتعرف σ بالانحراف المعيارى variance or standard deviation وهى مؤشر لامتداد منحنى التوزيع فى الاتجاه الأفقى. (المترجم)

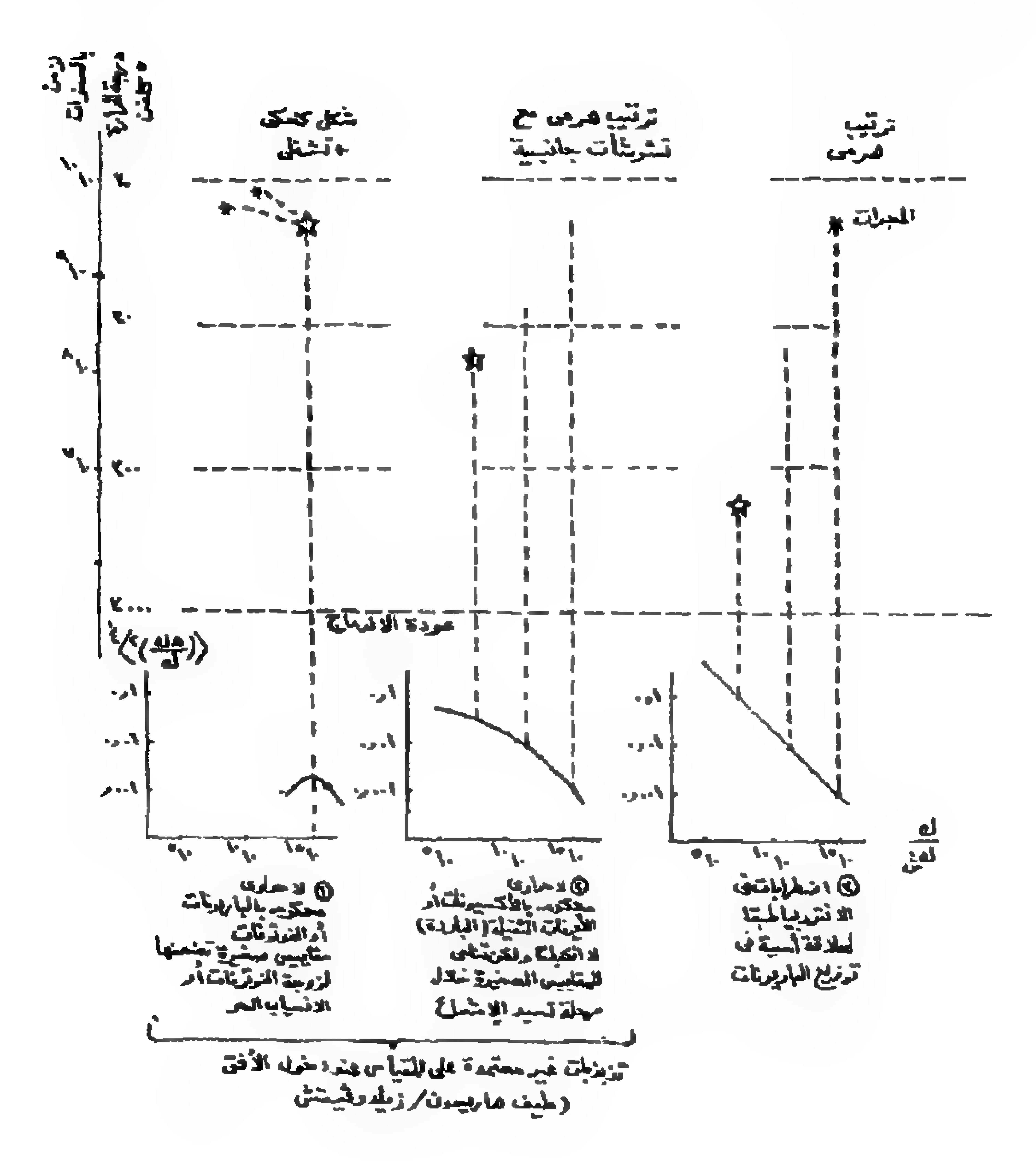
٣-٢ طيف التذبذبات عند زمن عودة الاندماج تع

عند عودة الاندماج، عندما كان عمر الكون نحو ثلاثمائة ألف سنة، وكانت درجة الحرارة قد هبطت لنحو ٣٠٠٠ درجة على المقياس المطلق، انزاح إشعاع الجسم الأسود فى اتجاه الجانب الأحمر من نطاق الضوء المرئى، ودخل الكون – بالمعنى الحرفى– فى حقبة مظلمة استدامت حتى تكاثفت أول المنظومات المحكومة بالجاذبية، وبدأت فى إرسال إشعاعها. نحن لا نعرف متى انبثق أول شعاع ضوء (انظر الباب الخامس). وربما كانت هذه الحقبة المظلمة قصيرة الأمد، وربما امتدت على النقيض من ذلك إلى $١٠^{٩}$ (ألف مليون) سنة، حتى دخل الكون تقريبا فى حقبة الكوازارات ذات الانزياح العالى صوب الأحمر. وتظل حيرتنا وقلة علمنا إزاء تلك الحقبة من التاريخ الكونى قائمة، مقارنة بمعلوماتنا عن أول $١٠^{-٣٥}$ جزء من أول ثانية من عمر الكون.

إننا نستقرئ الفيصل والعامل المحدد لعملية نشأة الكون وأصله فى طيف التذبذبات الحادثة فى كثافته، فى قيمة الجذر التربيعى لمجموع مربعات قيم التذبذب (r.m.s value)، باعتبارها دالة في معامل مقياس الكتلة mass scale عند لحظة إعادة الاندماج. إن الاضطرابات على كل المقاييس الأعلى من $١٠^{٦}$ $ك_{ش}$ تتضخم بنفس المعدل بعد ذلك. (يخمد نمو الاضطرابات ذات الكتلة الصغيرة حتى بعد أن ينفصل الإشعاع بفعل الضغط الصغير من الباريونات نفسها). وأول المنظومات المحكومة التى تنشأ عن طريق عدم الاستقرار الجذبوى سيكون لها معامل مقياس كتلة تصل عنده سعة ذبذبة الاضطرابات إلى نهايتها العظمى، ومتى أسهمت المادة غير الباريونية بالنصيب الأكبر فى قيمة المعامل (ى) أو أو ميجا فإنها عندئذ تلعب الدور المسيطر فى تكتل الجاذبية اللازمة لبدء نشأة الكون والتجمعات النجمية.

ويتوقف شكل الطيف على الطابع الأصلى، والذى يمكن أن يكون قد تعدل بسبب إخمادات تفضيلية preferential damping على ذات المقياس الأصغر

قبل إعادة الاندماج. ويوضح شكل (١٣) ثلاثة أمثلة، حيث تم توقيع سعة الذبذبة عند زمن إعادة الاندماج $^{ن}{}_{ع}$ على مقياس للكتلة مداه ١٠ ^{١٥} ك $_{ش}$ وذلك لتمثيل سعة الذبذبة فى يومنا الحالى تمثيلا صحيحا على هذا المقياس (لمزيد من الإيضاح انظر الشرح المرفق بالشكل).



شكل (١٣)

تعتمد العمليات المؤدية إلى نشأة الكون وتكونه، بعد عملية عودة الاندماج، على شكل طيف التذبذبات التى بقيت واستمرت بعد عمليات الكبح **damping** وغيرها فى الحقب الأكثر تبكيرا. وبعد لحظة إعادة الاندماج (بعد $ن_{ع}$) يستمر التنامى فى صورة خطية وتقريبا وفقا لعلاقة التناسب $\frac{\Delta ث}{ث}$ تتناسب مع $ن^{٢/٣}$(التفاوت فى الكثافة يتناسب مع الزمن مرفوعا للأس $^{٢}/_{٣}$). سيكون لأول المنظومات المحكومة بالجاذبية التى تتكون، كتلة تصل معها تفاوتات الكثافة لدى $ن_{ع}$ إلى قيمتها القصوى. وقد رقمت أحقاب الانهيار بعلامات النجمة* فى أعلى الشكل. فى الحالة (١) والتى تشبه ما هو متوقع إذا كانت نسبة الباريونات إلى الفوتونات منتظمة والمادة المعتمة فى صورة نيوترينوهات، فإن التجمعات فوق العنقودية هى أولى المنظومات التى تتكاثف، وتتكون فى زمن أحدث. والنماذج من هذا النوع تواجه صعوبات حيث إننا نرصد مجرات ذات معامل انزياح صوب الأحمر (ز) يصل إلى حوالى ٥، فى حين إذا انهارت التجمعات فوق العنقودية لدى هذا الزمن، لكانت الآن أكثر كثافة، ولبدا لها تفاوت كثافة أكبر مما نشاهده. فى الحالة (٢)، تتكاثف المنظومات الباريونية ذات الكتلة من الرتبة $١٠^{٦}$ ك$_{ش}$ فى (آبار طاقة وضع)، تنتـــج عن جسيمات المادة المعتمة الباردة، المفترض أنها تتحرك ببطء بحيث إنها لا تصبح متجانسة –على المقياس الصغير– كما تتجانس النيوترينوهات. (هذه الحالة الخاصة تناقش باستفاضة فيما يلى). وتبين الحالة الثالثة الطيف الذى ربما يظهر فى هذه الحالة من طيف اضطرابات ذى علاقة أسية مع نسبة الباريونات إلى الفوتونات. فى الحالة الثانية والثالثة ستتكون منظومات تحت – مجرية قبل تكون المجرات. إذا توفرت لهذه المنظومات تحت المجرية طاقة خارجية، فبمقدورها – من ناحية المبدأ – أن تولد اضطرابات ثانوية على المقاييس الكبيرة، ربما اكتسحت الاضطرابات الأولية الأصلية.

وبيين العمود الأيمن فى شكل (١٣) طيف (الضوضاء البيضاء) [*] بسعة نبـذبة تتـزايد بصورة أسية مع الاتجاه نحو المقياس الأصغر. وهنا لدينا تراتب أو تسلسل وتدرج هرمى (من أسفل لأعلى) لتفسير نشأة الكون، حيث تبرز للوجود أولا الأجرام التحت مجرية (من الرتبة١٠ ^٦^ ك ش) ثم المجرات، ثم العناقيد (وربما حدث هنا بعض التشابكات الطريفة، فقد ينطلق إشعاع ذو طبيعة انفجارية من الأجرام الصغيرة المحكومة الأولى، فيحدث عدم تجانسات ثانوية على مقياس كبير، من شأنها أن تطغى على تلك الموجودة أصلا). وحيث إن العمليات الفيزيائية التى تتوقف على المقياس فى حقبة الكون المبكرة (ن< ن ع) من شأنها أن تعدل أى طيف كان فليس هناك نموذج طبيعى فيزيائى يؤدى إلى علاقة خطية لهذا النوع عند ن = ٮ ع. أما العمودان الآخران بالشكل فيوضحان الأطياف المتوقعة إذا كانت المادة غير الباريونية هى المسيطرة.

والعمود الأيسر فى شكل (١٣) يبين الطيف المتوقع عند ن ع إذا كانت النيوترينوهات ذات الكتلة التى تساوى ك ى= ١٠ – ٢٠ إلكترون فولت. وحينما كانت درجـة الحـرارة الكونية أعلى من ك ى س^٢^÷بو (أى عند درجة حرارة أعلى من ١– ٢×10^٥^ كلفن فى هذا المثال) لا بد وأن النيوترينوهات كانت تتحرك وفقا لنظرية النسبية، لكن فى المراحل المتأخرة لا بد وأن سرعات النيوترينوهات الحرارية قد تباطأت بمعدل يتناسب مع $\frac{1}{م}$ (أى مع درجة حرارة الفوتونات). وبسبب السرعات الحرارية[**] العالية قبل ٮ ع، فلا بد أن تتجانس[٤١] النيوترينوهات وحتى رتبة ١٠ ^١٤^ك ش على أقل تقدير. وستكون أول المنظومات المحكومة حالئذ هى ما فوق العناقيد، وستنتج المجرات من نوع من عملية تشظى fragmentation ثانوية.

(*) طيف الضوضاء البيضاء أو الضجيج الأبيض: يعطى مستوى الضجيج الصوتى – طبقا لشدته– رموزا لونية للتمييز بين أنواعه (إحصائيا). والضجيج الأبيض مصطلح للضجيج الذى له نفس مستوى الطاقة لكل ذبذبة ويعطى طيفا منتظما (أى يكون مستوى الضوضاء بالديسيبل ثابتا مع كل الترددات). (المترجم)

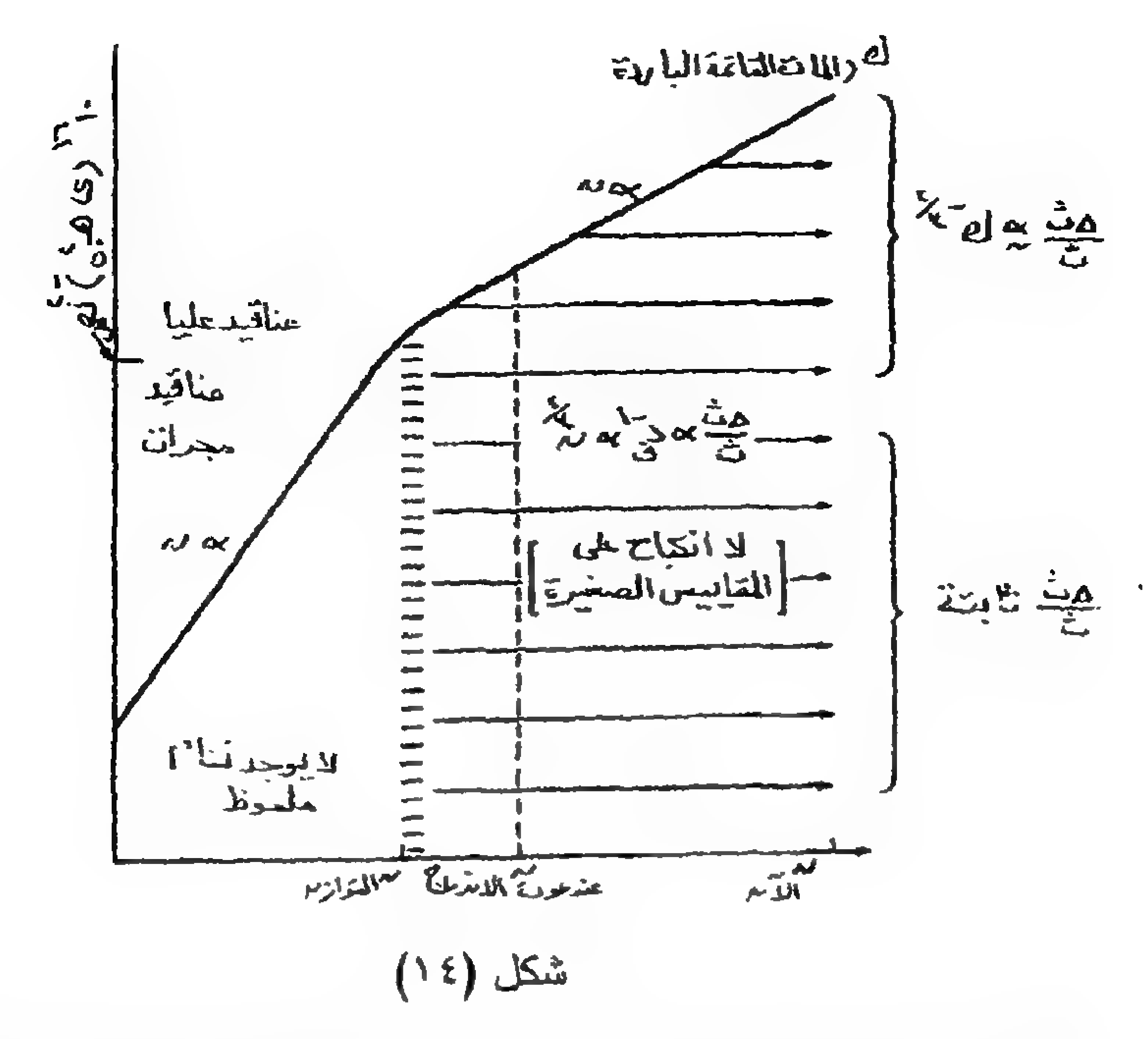
(**) السرعة الحرارية thermal speed: هى دالة فى درجة حرارة الجسيم تعتمد على ثابت بولتزمان ودرجة الحرارة المطلقة والكتلة. (المترجم)

فلنركز تفكيرنا الآن على العمود الوسط فى شكل (١٣). إن طيف التذبذب هنا يتخذ شكلا نتوقعه لو أن الويبمات هى المادة المسيطرة (أو أى مادة غير باريونية أخرى باردة، بمعنى أن حبيباتها المنفردة تتحرك ببطء بالغ لا يسمح بالانكباح damping نتيجة السريان الحر كما هو الحال مع النيوتريتوهات. ويحسب الطيف[٤٢] على أساس الافتراض الإضافى بوجود طيف "هاريسون – زيلدوفيتش[**] [٤٣] أصلا. وهذا الطيف يعد طبيعيا من حيث إنه يفترض تذبذبات مترية فى الكون المبكر لها نفس سعة الذبذبة ض على كل المقاييس. ويعنى هذا بالنسبة للاضطرابات perturbation على مقياس نصف قطر هابل أن $\frac{\Delta ث}{ث}$ ستساوى ض. وحيز "هابل" على أية حال يحتوى كتلة أقل فى الأزمان الأكثر تبكيرا. وفى الواقع، مع ثبات المقدار $(ج ث ن^{٢})$ فى المراحل الأولى من "كون فريدمان" فإن المقدار $ث(س_{ن})^{٣}$ يتناسب -كما هو واضح- مع ن. ويستوجب طيف "هاريسون – زيلدوفيتش" أن يكون لاضطرابات الكثافة جميعها نفس سعة الذبذبة ض عند الوقت الذى تحتل فيه هذه الاضطرابات حيزا يساوى "حيز هابل". ويحدث هذا فى وقت أكثر تبكيرا بالنسبة للكتل الضئيلة. وعلى هذا الأساس، لو أن النمو قد أعاقه الضغط بحيث تناسبت $\frac{\Delta ث}{ث}$ مع (م)، لشرعت الكتل عن المقياس الأصغر فى التنامى على الفور، ولاتجهت سعة ذبذبة تذبذبات الكثافة فى أية مرحلة نحو مقاييس كتلة أكبر تناسبا مع $ك^{-٢/٣}$.

وفى حالة المادة المعتمة (الباردة)، لا يتبع شكل الطيف عند $ن_{ع}$ شكل دالة أسية بسيطة: فعند المقاييس الكبيرة جدا تتناسب $\frac{\Delta ث}{ث}$ مع $ك^{-٢/٣}$، ولكن عند الاتجاه إلى مقاييس أصغر، يتحول الطيف باطراد نحو هيئة تكون فيها القيمة $\frac{\Delta ث}{ث}$ غير متوقفة – تقريبا – على ك. ويلخص شكل (١٤) والشرح المرافق له الأسباب وراء ذلك. وهذا التغير فى العلاقة يحدث عند مقياس كتلة مساو لذلك داخل نصف حيز

(**) طيف هاريسون– زيلدوفيتش: شكل افتراضى لطيف اضطرابات توزيع المادة فى الكون المبكر، الذى تطور إلى التكوين الكونى الذى نرصده حاليا. (المترجم)

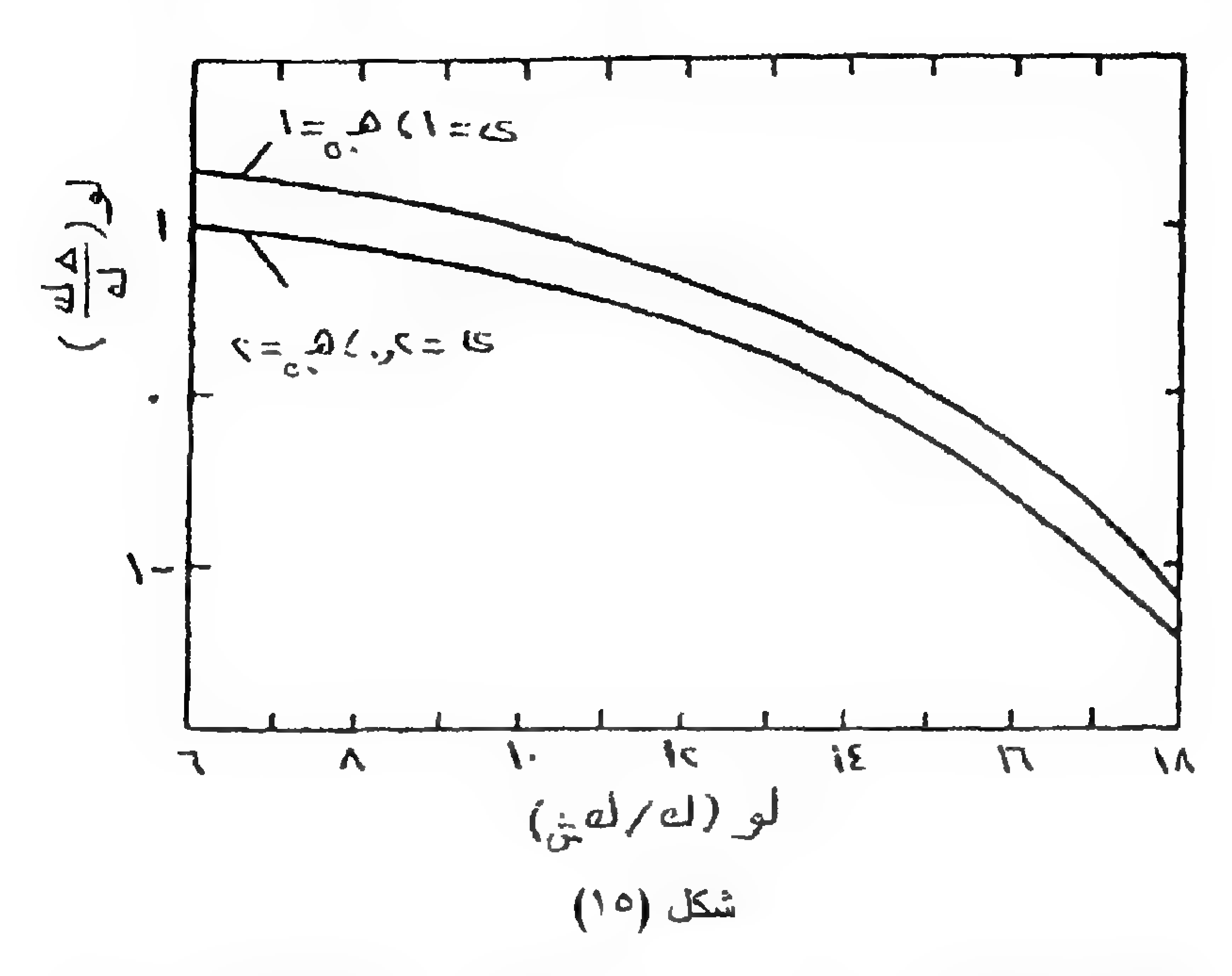
هابل، فى الوقت الذى تتساوى فيه كثافتا الإشعاع والمادة (وتناظر الكثافة لدى الحقبة الكونية عند (م÷م.)$^{-١}$ = ١٠^{٤} ى هــ .ه^{٢} وفى واقع الأمر– وكما يتضح من شكل (١٥)، تبين الحسابات المستفيضة أن الانحناء فى الطيف يتدرج ببطء. ولا يتحدد التطبيع الرأسى نظريا، وعند اختيار تطبيع لدى مقياس كتلة يساوى ١٠^{١٥} ك ش ، لكى يتوافق مع عناقيد المجرات كما نراها اليوم، يقتضى الطيف ألا تتقوض التذبذبات النمطية لــ ١٠^{٦} ك ش قبل الحقبة المناظرة للقيمة ز=١٠. ويتدرج تكون البنية فى شكل تسلسل هرمى، بمعنى أن الكتل الأصغر تميل إلى الوصول إلى التقويم مبكرا، ومن ثم تصبح مصنفة ضمن فئة أعرض من المنظومات الأكبر. وعلى أية حال، وبسبب شكل الطيف المسطح، فسيكون هناك تداخلات وتشويشات معقدة ما بين المقاييس المتعددة المختلفة. وقمم ٣ σ فى توزيع الكثافة على المقياس المجرى، ١٠^{١١} ك ش ينبغى أن يكون لها سعات ذبذبة مشابهة للقمم الأكثر نمطية مع كتلة تساوى١٠^{٦} ك ش ، ومن ثم ينبغى أن تنهار عند ذات الوقت تقريبا. ومن ثم فإنه من العسير أن تحلل سواء تحليليا أو رقميا حتى النواحى الديناميكية الصرفة أو غير ذات الفاقد فى عملية تجمع العناقيد. على أية حال، فإن الدراسات التى أجريت فى هذا المضمار جد مشجعة (٤٤، ٤٥). فعند تطبيع سعات ذبذبات التقلبات بحيث تتوافق مع البيانات عن تجمعات المجرات، فإن الترتيب –على مقياس دقيق– للمادة المعتمة، يماثل – إلى حد بعيد – أحجام وهيئات هالات المجرات المنفردة. ويبين شكل (١٦) مثالا على تطور مثل هذه التجمعات فى المجموعة النجمية Virgo العذراء.



شكل (١٤)

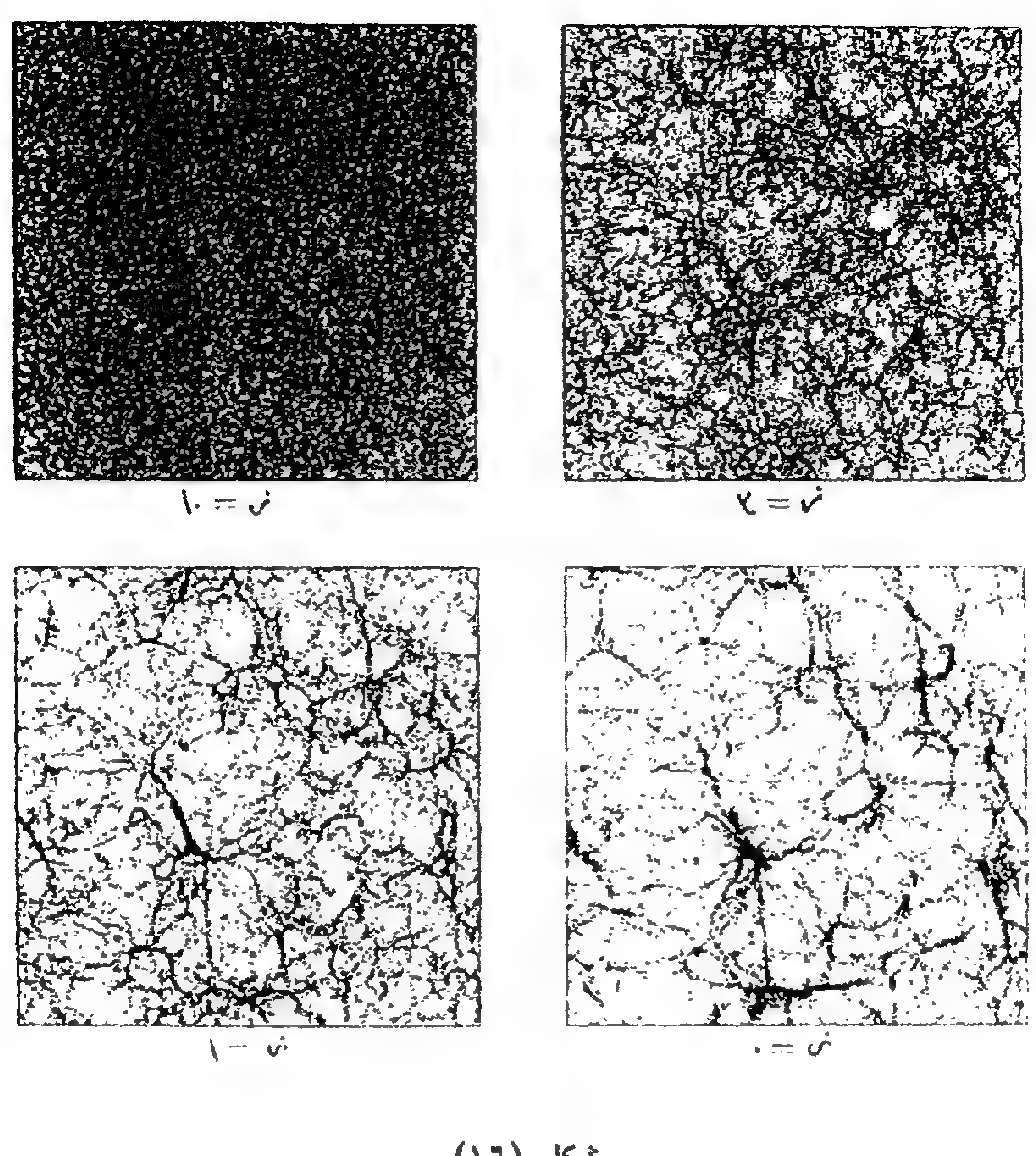
نمو التذبذبات الأديباتية (غير الحرارية) فى كون تحكمه المادة المعتمة الباردة. وكتلة المادة المعتمة الباردة فى نطاق (س. ن) مبينة كدالة فى الزمن فى الرسم البيانى ذى المقياس اللوغاريتمى على المحورين. عند الزمن ن > ن ظ (والمناظر للانزياح صوب الأحمر كما هو مبين بالشكل)، تتضاعف كل المقاييس بنفس المعـــدل. وقـــبل ن ظ، عندما يكون التمدد محكوما بالإشعاع لا يكون هناك – بشكل جوهرى – أى تنام، لأن مقياس زمن التنامى يتجاوز بمراحل مقياس زمن الإشعاع. إذا دخلت التذبذبات – على جميع المقاييس– الأفق بسعة ذبذبة ض متساوية (افتراضية هاريسون – زيلدوفيتش) فإن الطيف الموجود اليوم من شأنه أن يتخذ الصيغة المدونة على الجانب الأيمن (وشكل الطيف المحسوب بدقة يبينه شكل ١٥). وتبدأ اضطرابات المادة القاتمة الباردة فى التعاظم عند ن ظ، فى حين يكبح ضغط الإشعاع، تنامى اضطرابات الباريونات على المقياس المناظر حتى وقت عودة الاندماج المتأخر ن ع. لذا فتذبذبات المادة القاتمة الباردة لها بداية

head (حيث تكون الباريونات قادرة على السقوط فى آبار طاقة الوضع الناتجة بعد ن ع). ويسمح ذلك بنموذج مقبول لنشأة الكون بسعة نبذبة تذبذبات أقل ض، وتذبذبات خلفية موجات ميكرونية أقل، عما فى الكون المحكوم بالباريونات.



شكل (١٥)

القيمة المتوسطة للجذر التربيعى لمجموع مربعات التذبذبات (r.m.s) بوصفها دالة فى الكتلة ك لنموذجين من المادة المعتمة الباردة (مقتبسة من بلومنتال وآخرين- مجلة ناتشر Nature - ١٩٨٤- العدد ٣١١ - ص ٥١٧).



شكل (١٦)

إسقاط مستوى (على بعدين) لمواضع الجسيمات فى شرائح من محاكاة للكون ذى المادة القاتمة الباردة CDM بقيمة ى = ٣,٠، ى أ = ٧,٠ يبلغ طول ضلع الصندوق الخاضع للحسابات ٢٤٢,٦÷هـ. ميجابارسك والشريحة الموقعة لها سمك ٢/هـ. ميجابارسك والحيز بمجمله يحتوى على ١٦٧٧٧٢١٦ جسيما. وللظروف الابتدائية طيف قوى power spectrum مشابه لذلك المبين بشكل ٣-٤ من المرجع المذكور، ومستعدلة لتعطى الوفرة المرصودة فى يومنا الحالى

للعناقيد الثرية. وتناظر الحقب الزمنية المبينة انزياحات نحو الأحمر مقاديرها ١٠، ٣، ١، صفر (أمدنا بهذا الرسم أدريان جيكينز وكارول فرينك، والمحاكاة موصوفة بالتفصيل فى مقال جيكينز وآخرين ١٩٩٨ فى AP.J العدد (٤٩٩ – ص ٢٠).

٣- ٣ هل الكون مسطح:

فى مراجعة نقدية مشهودة يعود نشرها إلى عام ١٩٧٤، لخص جوت وجن وشرام وتينسلى [٤٧] النقاش الدائر حول المعامل (ى). فقد انتهوا إلى خلاصة مفادها أن الاستدلال من ديناميكيات التجمعات العنقودية والمجرات، إلخ.. تحبذ قيمة للمعامل ى تبلغ ما بين ٠,١، ٠,٢، وأشاروا إلى أنه لو كانت مادة الكون باريونية فإن الحد الأدنى من هذا النطاق يتوافق مع القيمة التى يمثلها تكون النوى وفقا لنموذج الانفجار الأعظم لدى قيمة لـ هـ.ه=١، ن هـ= ٢×١٠ ^١٠^ سنة تقريبا (وهى قيمة مترابطة مع الأعمار المقدرة لأكبر النجوم سنا وما إلى ذلك). ولقد تراكمت منذ ١٩٧٤ أدلة أخرى عديدة، وعلى نحو خاص من خلال ديناميكيات العناقيد النجمية، ومقدار وفرة العناصر. وعزز ذلك نشر بعض البحوث النظرية ذات العلاقة بنفس الموضوع بعد تنقيحها. ولكن إذا جاز للمرء أن يحدّث مناقشات جوت ورفاقه، فلن يغير من جوهر خلاصات استنتاجاتهم فى كثير. على أن توجهات العلماء النظريين قد تبدلت –على ما يبدو– على نحو ملحوظ. وقد كان هذا – فى جزء منه – عائدا إلى أن موضوع المادة غير الباريونية يحمل فى الوقت الراهن على محمل الجد، وهو ما يبدو توقعه– على نحو ما– أمرا طبيعيا. بيد أن العنصر الجديد فى هذا النقاش هو مفهوم الانتفاخ inflation[*] ويلوح أن

(*) يقصد بمفهوم الانتفاخ مرور الكون بحقبة انتقالية عند الزمن ١٠^-٣٤^ من الثانية من الانتفاخ المرحلى قبل أن يعود ثانية إلى معدل للتمدد المعتاد، وعند تلك للحظة انفصلت القوى الشديدة عن القوى الكهربية الضعيفة وانطلقت كمية ضخمة من الطاقة لختزنت منذ تلك الوقت فى فراغ الزمكان. أدخل هذا المفهوم لتفسير تجانس الكون على المستوى الكبير. (المترجم)

هذا المفهوم يحل بعض المفارقات لماذا يتوافق معدل تمدد الكون – بكل إحكام – بحيث لم يتقوض كوننا منذ أمد بعيد من ناحية، كما لا يأخذ فى التمدد على نحو سريع بحيث تتكثف المجرات من ناحية أخرى، بل يقترح– علاوة على ذلك أن للمعامل ى قيمة الواحد الصحيح تقريبا.

فلو أن ى تساوى الوحدة حقا، فإن بقية المادة المفتقدة ستتحرك بقوة نحو ترجيح المادة المعتمة غير الباريونية الحارة أو الباردة، لأن عملية تكون النوى وفقا للانفجار العظيم تعزز قيمة للجزء ى ب تقل عن ١,٠ هـ.ء ^-٢^ (انظر الباب الأول).

وكما رأينا فى الباب الثانى، فالدليل الحاسم الباث على وجود المادة المعتمة، والمستمد من ديناميكيات هالات المجرات والتجمعات العنقودية المقومة، لا ينهض دليلا على تجاوز المعامل (ى) للقيمة ٢,٠ ترى هل يمكن أن تكون هناك ما زالت مادة كونية متناثرة على نحو ضئيل فيما بين التجمعات النجمية؟ للإجابة على هذا السؤال يلزمنا عمليات مسح وتقييم كمى ومعلومات عن الديناميكيات لكل التجمعات فوق العنقودية الضخمة (التى يطلق عليها الأسوار العظيمة) (*)، وكل التكوينات الأخرى ذات الأبعاد الهائلة.

لقد شهدت السنوات الأخيرة تقدما مطردا فى توصيف هذه التكوينات وتصور مخططات لها. ونحن الآن متحققون من أن توزيع المجرات فى الفضاء يتبع مخططا ذا مغزى حتى على مقياس الأبعاد الكبيرة (٥٠ هـ.ء ميجابارسك). إن إحصاءات ليك lick ذائعة الصيت[٤٨]، والتى قام بيبلز peebles ورفقاؤه فى

(*) السور العظيم gteat wall اصطلاح يطلق على تجمع من آلاف المجرات المصطفة على هيئة قوس هائل طوله ٥٥٠ مليون س.ض وعرضه ١٩٥ مليون س.ض وسمكه ١٦ مليون س.ض على بعد ٢٤٥ س.ض. وهذا هو فقط الجزء الذى يتم رصده لوقوع بقيته خارج مجال الرصد، ويرجح العلماء أن للقوى الجذبوية الخاصة بهذا التجمع صلة بانحراف سرعات المجرات عما يقتضيه "تدفق هابل"– يضم السور العظيم من المادة نحو ٥×١٠ ١٦ كتلة الشمس. (المترجم)

العمل بتحليل خواص تجمعات النجوم طبقا لها باستفاضة قد تم فى الوقت الراهن استكمالها من خلالها بيانات مسح السماء الجنوبية فى المملكة المتحدة. ولقد درس "مادوكس" و"أفستاثيو"(٤٩) بكمبريدج الدوال الرياضية الخاصة بالمجرات وبيانات التجمعات النجمية فى هذا المسح، باستعمال آلة قياس أوتوماتيكية خاصة Automatic plate Measuring Machine (APM). ولقد كان الأمر الأكثر أهمية، البرامج المعدة للحصول على مقدار الانزياح صوب الأحمر **redshift** لعشرات الآلاف من المجرات، ومن ثم إمكانية إجراء هذا المسح لهذه التكوينات فى ثلاثة أبعاد(٥٠).

إنما ينظر علماء الفلك إلى التجمعات النجمية ذات الأبعاد الضخمة كنظرتهم إلى الاختبارات النفسية من خلال "بقعة الحبر" **ink- blot test**(**). فالبعض يرى فيها ملامح دقيقة أو فقاعات أو صفائح، بينما لا يرى آخرون سوى حصيلة الاضطرابات ذات التوزيع طبقا لجاوس (التوزيع الناقوسى) (*). وتشمل الطرق الإحصائية المطبقة على البيانات الإحصاءات الانتقائية **percolation statistics** ، ودوال الارتباط correlation Functions لثلاثة أو أربعة أجرام، والخواص الطوبولوجية للأسطح ذات الكثافات المتساوية، وما إلى ذلك. والحاجة ماسة لسبل أفضل ليس فقط لتحليل البيانات التى يتعاظم –باطراد– حجمها، ولكن أيضا من أجل وصف نتائج عمليات المحاكاة الرقمية. فواضح للعين– على سبيل المثال أن لمحاكاة المادة القاتمة الحارة نطاقا ديناميكيا أضيق من التراكيب المغرية بالنظر لها عن نماذج المادة القاتمة الباردة، ويبدو أنها تقدم تمثيلا أسوأ للبيانات الفعلية، على أن الأفضل للمرء أن يقوم بهذه التقديرات بصورة كمية.

(*) اختبار بقعة الحبر النفسى Ink blot psychological test: هى طريقة تقييم نفسى تتبع مدرسة سيجموند فرويد حيث تعرض على المريض – بترتيب مرسوم – مجموعة من بقع الحبر ويطلب من المريض ذكر أول تصور يتبادر إلى ذهنه لدى رؤيتها، ويتم تشخيص حالته وفقا لرد فعله. (المترجم)

(**) أى الذبذبات المتجانسة فى جميع الاتجاهات حيث تتركز الأغلبية فى الوسط حيث قمة الكثافة. (المترجم)

ومنظومات العناقيد العليا superclusters ليست مقومة، وهى - بصفة عامة- آخذة فى التمدد. وعلى الرغم من ذلك فإن التأثير الجذبوى للكثافة الإضافية يجب أن يولد اضطرابات فى السرعة يمكن - من ناحية المبدأ - قياسها. وفى الاضطرابات الكروية(*) (قارن بشكل ١٢) عندما لا تكون الكثافة التى تضيفها كبيرة كبرا يكفى لحدوث انعكاس turnaround، ترتبط السرعة الشاذة peculiar velocity (ويقصد بها الانحراف عن سرعة التدفق وفقا لقانون هابل Hubble flow velocity عند نفس الموضع) بالزيادة فى الكثافة، وبالمعامل ى بالعلاقة $\frac{\Delta ع}{ع} = د(ى) \cdot \frac{\Delta ث}{ث}$ حيث د(ى) هى دالة فى المعامل ى تساوى $ى^{٠٫٦}$ تقريبا. أما معامل الزيادة فى الكثافة $\frac{\Delta ث}{ث}$ فقد لا يتساوى- على أية حال- مع الزيادة فى لمعان المجرات. وحقيقة فمن المعتاد النظر إلى هذه المقادير على اعتبار ارتباطها بمعامل انحياز bias factor (ب).

والسرعة الشاذة الموضعية الخاصة بنا بالنسبة لخلفية الموجات فائقة الصغر ينظر إليها بصفة عامة على أنها قد تولدت من خلال عدم التجانس فى توزيع المجرات فيما حولنا. فمجموعتنا المحلية تتجذب نحو العناقيد بل هى فى الواقع تلفظ بعيدا عن الأماكن الخاوية. وهناك إسهام ملموس فى السرعة الشاذة الخاصة بمجموعتنا يبدو فى حكم المؤكد مجيئه عبر مسافات تصل إلى ١٠٠ $هـ.ء^{-١}$ ميجابارسك (نطاق الجاذب الأعظم Great Attractor) (**). ومازالت مسألة ما إذا كان توزيع المادة الكونية حولنا يصل إلى درجة كافية من عدم الانتظام تكفى للإسهام فى حركتنا حتى أبعد من هذه المسافات، محل بحث [٥٣، ٥٤].

(*) هى الاضطرابات الحادثة فى منظومة على شكل سطح كروى.

(**) نطاق الجانب الأعظم: Great Attractor: هو موقع ما بين المجرات تتكدس فيه مادة كونية كتلتها حوالى $١٠^{٤}$ من كتل مجرة الطريق اللبنى فى اتجاه كوكبات هيدرا وقنطورس يستشعر بتأثيره على حركة المجرات وعناقيدها عبر مئات الملايين من السنوات الضوئية تم فى عام ١٩٨٦ تحديد موقعه بصفة نهائية على بعد يتراوح ما بين ١٥٠، ٢٥٠ مليون سنة ضوئية. (المترجم)

ما دام الكثافة والضوء يخضعان كلاهما لقانون التربيع العكسى، فبإمكاننا أن نستدل مباشرة على أن الإسهام الذى تسهم به مجرة بعينها أو مجموعة مجرات يتناسب مع ما نتلقاه منها من ضوء ما دامت القيمة (ب) ثابتة. ولاحظ كذلك أن التذبذبات الوضعية الجاذبية $\frac{ج\Delta ك}{نق}$ اللازمة لإحداث سرعة شاذة بعينها (وهى تتناسب مع Δ ك÷ نق[٢]) تكون أكبر كلما زاد المقياس. ويحد هذا المعامل من مقدار السرعة الشاذة (المميزة) لمجموعتنا المحلية التى قد تكون نتيجة التكونات وحتى لمسافات أبعد من (الجاذب الأعظم).

وبمقدورنا تطبيق المعادلة رقم (١) على حركتنا نحن المحلية من واقع بياناتنا فى بعدين اثنين دونما حاجة لمعرفة مقدار انزياح المجرات صوب الأحمر. والخطوة التالية –على أية حال– أكثر طموحا، وهى تطبيق المعادلة على السرعات المميزة للمجرات الأخرى العديدة بالمثل، وذلك كى نستدل على توزيع كتلة المادة فى حيزنا المحلى بأكمله. وبطبيعة الحال يمكن تعيين السرعات المميزة للمجرات الأخرى ذات الانزياح المعروف صوب الأحمر فقط إذا عرفنا مؤشرا مستقلا للمسافة التى تكفى للتمييز ما بين المسافة الفعلية لبعد المجرة، والمسافة التى كان ينبغى أن تبعد بها لو أنها تخضع لتدفق هابل لو لم يداخله تشويش. وينبع عدم التيقن من الناحية العملية أساسا فى القياسات وتفسير الانسيابات لدى القياسات الكبيرة من المشكلات فى معايرة المؤشرات الدالة على المسافة.

وللعديد من المجرات يمكن تقدير المسافات بقدر كاف من الدقة يسمح بتعيين السرعة المميزة (أو على الأقل مركبة هذه السرعة فى اتجاه خط الإبصار). وقد وجدت سرعات تصل إلى حدود عدة مئات من الكيلومترات فى الثانية. وإذا كانت هذه الحركات الانسيابية على هذا المقياس الكبير (والتى تماثل حركات طبقات تكتونية[*]) على المستوى الكونى قد تولدت بفعل الجاذبية، فيمكن للمرء أن يعيد

(*) الحركات التكتونية: tectonic motion يقصد بها تحركات طبقات القشرة الأرضية ودثار الأرضى العلوى بالنسبة لبعضها. (المترجم)

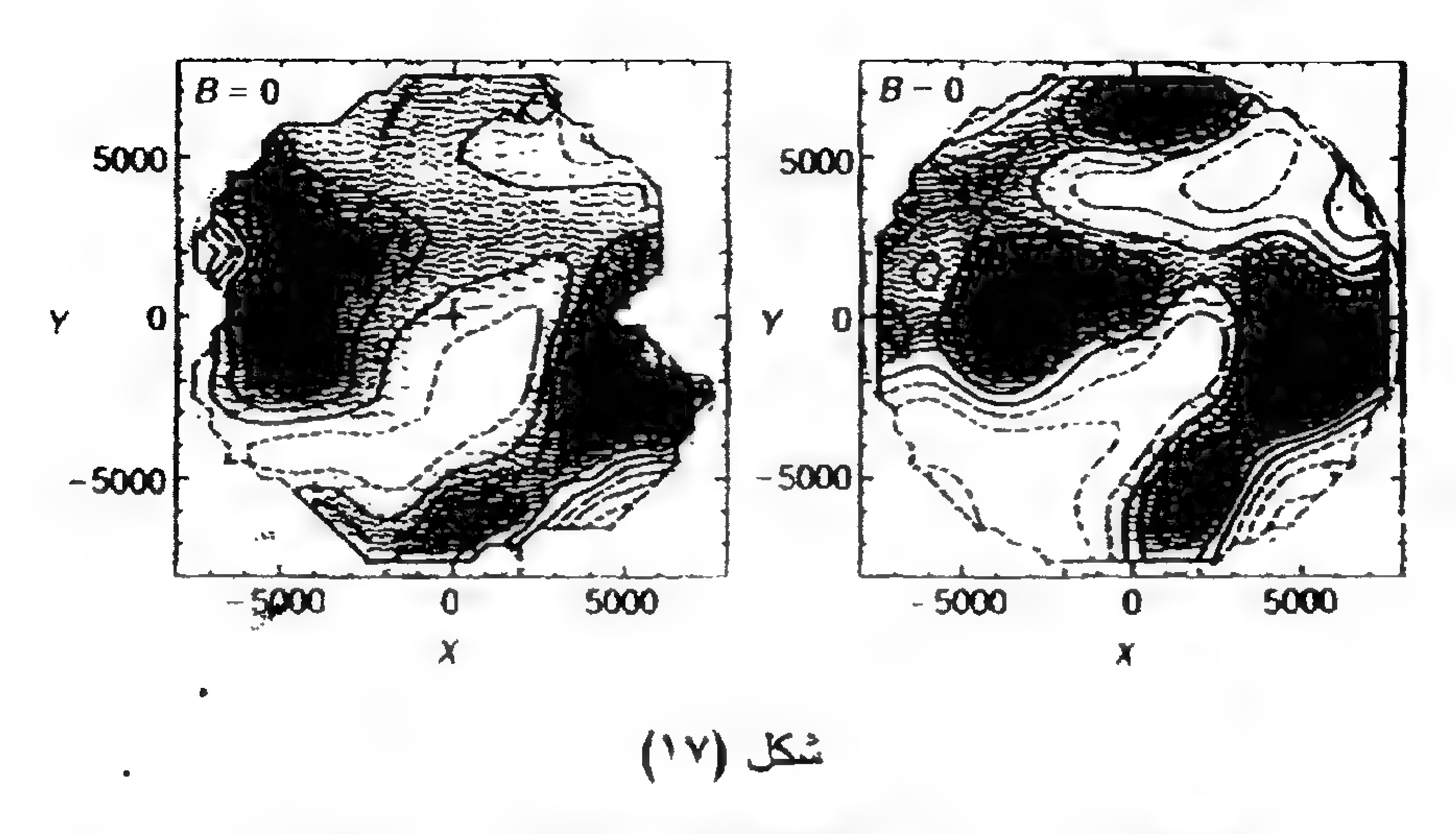
رسم خريطة مجال الكثافة من هذه الحركات، متعاملا مع المجرات ذاتها باعتبارها "جسيمات للاختبار"[٥٥].

منذ سنوات قلائل كان الكثيرون منا يتشككون فى هذه السرعات الانسيابية، من جراء اللايقين الذى ما زال قائما عما إذا كانت المؤشرات الدالة على شدة الاستضاءة (تشتت السرعات، القطر، وما إلى ذلك) هى حقا مستقلة عن الموضع والظروف المحيطة. أما الآن فالبراهين أكثر توفرا وترابطا، على الأقل بالنسبة لبعض أنحاء السماء. فتحركات المجرات، منسوبة إلى تدفق هابل، تبدو حقا بسبيلها نحو التجمع فى مناطق ذات تركيز عال من المجرات [٥٥أ] (انظر أيضا شكل ١٧ والشرح المناظر له). فلو كانت المسافات المستدل عليها غير صحيحة، والسرعات المميـزة المزعومة، زائفة أو مضللة، فما من سبب يدعونا لأن نتوقع أن توصف أو تصور لنا تدفقا ديناميكيا معقولا. فالتحركات على مستوى المقاييس الكبيرة، وما تتضمنه مازالت مطروحة للنقاش، وإن تكن البراهين قد بدأت فى المنافحة عن معايير المسافة التى تستعملها عادة.

وتتضح أهمية التحركات الانسيابية من أننا نستدل بها مباشرة على عدم التجانسات فى مجالات الجاذبية، وهو ما يمكن أن يعزى السبب فيه إلى المادة المعتمة. والمجرات هنا بمثابة جسيمات اختبار، ولسنا بحاجة لأن نفترض أن لها نفس توزيع المادة المعتمة ذاتها.[٥٦] والانحرافات عن "تدفق هابل" والناجمة عن تأثير التجاذب – وهى انحرافات محسوسة ومنتشرة، أى أنها غير مقصورة على المناطق المحيطة بالعناقيد المقومة– تتوافق مع قيمة منخفضة للمعامل (ى).

وتعزز هذه الحركات على المقياس الكبير بصورة قاطعة أن قيمة المعامل (ى) تبلغ على الأقل ٠,٢، بل وحتى تطرح أن هناك المزيد من المادة المعتمة، منتشرة على مستوى العناقيد العليا. ومازلنا لا ندرى لها كنهًا. على أية حال، كلما كان هناك المزيد منها، ضعف احتمال كونها من الباريونات المعتادة، إذ إن الأخيرة محكومة بعملية حسابات تكون النوى بحيث تعطى قيمة لـــ ى ـ لا تتجاوز ٠,١

هـ.د $^{-2}$ وأكثر البدائل ترجيحا من بين المواد غير الباريونية: النيوترينوهات أو جسيمات المادة المعتمة الباردة.



شكل (١٧)

تبين اللوحة اليمنى خطوط الكثافة density contours لتوزيع المجرات الذى رصده القمر الصناعى IRAS (Infrared astronomy satellite) وذلك فى حيز يمتد حتى سرعات هابل تباعدية (طبقا لقاعدة هابل) تبلغ ٥٠٠٠ كيلومتر/ثانية (وهو ١/٢ النطاق المبين فى شكل ١) والخطوط فى اللوحة اليسرى توضح كثافة المادة التى تلزم لتوليد ولإحداث الانحراف عن تدفق هابل وكما تحدده أرصادنا. ويشير التماثل الواضح بين خريطتى توزيع خطوط الكثافة أن المجرات بمثابة راسمات للتوزيع الإجمالى للكتل. وهو بالمثل يدعم ويرسخ من ثقتنا فى الوجود الفعلى لسرعات انسيابية على المقياس الكبير أكثر من اعتقادنا فى كونها ظواهر متولده من تأثيرات بيئية على المقياس الكبير (الكونى) على المؤشرات البعدية.

وتقدم هذه التحركات الدليل الديناميكى الفعلى الأول على وجود كثافة كونية متوسطة تقارب القيمة الحرجة (عند ى = ١) (من مقال ديكيل وآخرين – مجلة الفيزياء الفلكية – العدد ٤١٢– ١)

وما نحتاجه حقا هو بعض التقنيات لتوصيف ووضع مخطط لتوزع المادة المعتمة على مستوى العناقيد الفوقية دون أى افتراض ما إذا كانت المجرات هى التى ترسم خرائط توزيع الكتل أو افتراض بعمومية مؤشرات المسافة كونيا واللازمة لتحديد تحركات المجرات المميزة. وإحدى الإمكانات التى تنفذ حاليا تشمل البحث عن تشوهات فى صور المجرات الخلفية الخافتة لعناقيد عليا ناجمة عن التأثير العدسى [٥٧].

ويطابق هذا الطريقة التى تطبق فعلا بالنسبة للعناقيد (انظر البند ٢– ٣) على أية حال، لن يكون للعناقيد العليا مثل هذه الكثافة (العمودية) [*] العالية الموجودة فى قلب عنقود غنى، وبالتالى فلن تعطى صورا مشوهة أو مكبرة بصورة كبيرة. إلا أن القطر الزاوى لعنقود فوقى له إزاحة نحو الأحمر (فلنقل بقيمة ٣,٠) سيكون فى حدود درجة واحدة. وحتى المجرات الخافتة من القدر 10° والتى تقبع خلفها ستشارك فى تشوه مرتبط بها. وبالتالى فما من سبيل للبحث عن تشوهات مرتبطة عبر المساحة كلها التى نشاهدها خلال نفس العنقود الفوقى، حتى لو كان الأثر يبلغ فقط جزءًا صغيرا فى المائة.

(*) الكثافة العمودية column density : يقصد بها التعبير عن الكثافة بوصفها دالة للارتفاع فى عمود ما.

٣ـ ٤ الطرق التقليدية لتحديد قيمة المعامل (ى)

٣- ٤- ١ مؤشرات التباطؤ:

إن أكثر الطرق مباشرة لتقدير المعامل (ى) (واستشعار تأثير المادة المعتمة حتى وإن تكن متناثرة عبر الفضاء فيما بين المجرات) هو أن نسبر تأثيراتها على انحناء الكون وديناميكياته بأكمله.

وقد كان قياس مؤشر التباطؤ ق = – نق نق`` ÷ (نق`)٢ هدفا للفلكيين منذ عقد الخمسينيات من القرن العشرين. وهو يساوى ى/٢ فى نماذج فريدمان المبسطة لدى ثابت كونى أ=صفرا) وذلك بمد علاقة هابل التى تربط القدر (اللمعان) بالانزياح للأحمر نحو انزياح أعلى. فمثلا تجلت التوقعات والنظريات الأساسية حول ذلك بوضوح فى بحث سانداج sandage الكلاسيكى عام ١٩٦١، المعنون "قدرة المرقاب ذى الـــ ٢٠٠ بوصة قطرا على التفرقة بين النماذج الكونية المنتقاة". على أنه اعتبارا من السبعينيات، وبوجه خاص من خلال أعمال تنسلى Tensley المرموقة، اتضحت أهمية التصحيحات المستحدثة. وعلاوة على ذلك، تجلت الحاجة إلى فهم أعمق لتاريخ تطور المجرات قبل تقييمها كميا. فالمجرات التى نشاهدها على أبعاد سحيقة – أصغر عمرا من تلك القريبة منا وفقا لنسق متسق. وحتى إذا كان نوع بعينه من المجرات (على سبيل المثال ألمع المجرات فى العنقود المجرى) يمثل قدرة شمعية قياسية(*) ما فى الزمن الراهن، فالمرء يحتاج لمعرفة كيف تتغير كل شمعة لدى احتراقها. والمجرات ذات الأهمية الحاسمة فى اختباراتنا الكونية هى تلك التى بدأ ضوؤها فى الرحيل صوبنا منذ ٥ – ١٠ بليون عام، وهى التى نشاهدها وهى فى أقل من نصف عمرها الحالى.

(*) القدرة الشمعية هى معيار لشدة استضاءة النجم، والقدرة الشمعية القياسية Standard candle هى قدرة جرم فضائى معلوم اللمعان يتخذ كوسيلة لتحديد الأبعاد باستعمال قانون التربيع العكسى بين البعد واللمعان الظاهرى. (المترجم)

وفى مجرة إهليلجية صغيرة السن، سنرى الكثير من النجوم المتألقة، وهى فى الواقع قد لقيت حتفها، فنحن نشاهد كل النجوم حاليا كما كانت تبدو فى مراحل أكثر تبكيرا من رحلة تطورها، ذلك التطور الذى يبدل من لمعانها ولونها. ويشير الاتجاه العام إلى أن المجرات الأحدث عمرا، هى الأكثر لمعانا وزرقة، ويعتمد التأثير - من الناحية الكمية على توزيع كتلة النجم وتاريخ تكونه. إلا أن هناك تأثيرًا تطوريا ثانويا، ينبع من حقيقة أن المجرة ليست بالمنظومة المنعزلة المقتصرة على نفسها، فنحن نشاهد كثيرا من الأمثلة تبدو فيها المجرات متصادمة أو آخذة فى الاندماج مع غيرها. وفى العناقيد المجرية الثرية بالنجوم ربما تلتهم المجرات المركزية العملاقة جيرانها الأضأل حجما (ولعل مثل ذلك قد حدث - عرضا - فى خلال بضعة بلايين من السنين فى مجموعتنا المجرية المحلية، فمجرة أندروميدا أو المرأة المسلسلة تهوى نحو مجرتنا الطريق اللبنى، وربما يحدث اصطدام بين هاتين المجرتين القرصيتين الهائلتين، ومن المرجح أن يتخلف عن هذا الاصطدام تل أو كومة منتفخة هلامية غير محددة المعالم من النجوم، لها شكل المجرة الإهليلجية). ولعل العديد من المجرات الضخمة - وعلى نحو خاص فى مراكز العناقيد المجرية ستبزغ للوجود نتيجة هذه الاندماجات. ومن الواضح أنه سينجم عن هذه العملية مجرات عظيمة كانت - فى المتوسط - أكثر خفوتا فى الماضى.

من هنا فإن هناك أثرين متعاكسين لتطور المجرات - وكلاهما غير مؤكد - وقد يكون أحدهما كبيرا كبرا كافيا، كى يخفى الفارق بين كون تصل فيه قيمة ق إلى ١,٠ (أى تصل فيه قيمة ى إلى ٢,٠) وآخر تبلغ فيه ق ٠,٥ (أى تبلغ فيه ى الواحد الصحيح). والأبحاث الحديثة والقائمة على سبيل المثال على نموذج (المادة المعتمة الباردة) النظرى تقرن ما بين هذين التأثيرين: النمو التسلسلى الهرمى للمجرات، وانفجار جديد من تكون نجوم تولد بعد كل واقعة اندماج[٥٨].

ولا يساعدنا كثيرا فى تحديد قيمة ق التقدم الهائل مؤخرًا فى مسح المجرات نحو نطاق أشمل من الانزياح للأحمر (وإن يكن هذا التقدم مصيريا فى فهمنا

لفيزيائيات المجرات الفلكية). فتأثير التطور فى المجرات ذو أثر أكبر. وتأثير التطور على أشباه النجوم وما شاكلها ما زالت حدوده غير مؤكدة (انظر الباب الرابع). وترتبط ظاهرتا تطور المجرات وتمدد الكون برباط وثيق، بحيث يظل الأمل ضئيلا فى صلاحية استعمال المجرات باعتبارها أدوات اختبار لهندسة الكون حتى يتعمق استيعابنا للفيزياء الفلكية إلى الحد الكافى.

لقد عادت النقاط التالية مؤخرا إلى بؤرة الاهتمام (بل وحتى إلى دائرة التفاؤل) بخصوص عمليات استشعار البناء الهندسى للكون والتى تتجاوز مرحلة عدم اليقين فيما يختص بتطور المجرات:

أ- المستعرات العظمى من النوع الأول: التى توقدها قنبلة نووية حرارية تنفجر عندما يدفع نجم محتضر بغتة فوق حد شاندراسيخار(*) للكتلة الحرجة، يمكن استشعارها بصورة روتينية(٥٩) عند قيمة ز تساوى أو تزيد عن ٠,٥ وليس ثمة ما يدعونا إلى توقع أن تتوقف خواصها النمطية على الحقبة من عمر الكون. لذا، فإذا كانت هذه المستعرات ذات قيمة شمعية كافية فإنها تقدم إمكانية لاختبار قيمة (ق). ويلوح ذلك الآن أكثر الوسائل الواعدة لاتباع الاختبارات الكونية الكلاسيكية. وتبدو البيانات المبدئية متعارضة مع القيمة (ق) =١/٢. فهذه البيانات تشير حقا إلى تسارع إذا تأكد وجوده فإن ذلك يستدعى قيمة للثابت الكونى (أ) لا تساوى الصفر.

ب- الانبعاث الإذاعى من المصادر الراديوية القوية (والتى كان رايل هو أول من درسها (ارجع لبند ١- ٣) يفد من فصوص أو نتوءات تحتوى على بلازما(*) (طبقا للنظرية النسبية) ومجالات مغناطيسية تقع عامة بصورة بصرية

(*) يحدد حد شاندراسيخار Chandrasekhar limit تطور النجم طبقا لكتلته، فإذا زادت كتلة النجم عن كتلة حرجة (٤و١ أو ٥و١ من كتلة الشمس) فليس بوسعه مقاومة جاذبيته الذاتية وينتهى فى تطوره إلى ثقب أسود، وإذا قلت عن ذلك فإنه يتوقف فى النهاية عن التقلص ليستقر على صورة قزم أبيض. (المترجم)

(*) البلازما صورة تتخذها المادة عند درجات الحرارة بالغة الارتفاع، هى وسط بين المادة والإشعاع.

متماثلة على كلا جانبى المجرة والتى يمكن قياس قيمتها مقدرة بالدرجات بسهولة. والمصادر الممتدة كثيرا ما تتأثر دون ريب بالوسط الخارجي. وهذا الوسط نفسه يتطور بطريقة غير معروفة على وجه اليقين وبالتالى فهو يدخل نفس عوامل اللايقين فى عمليات التطور لدى دراسة المجرات والعناقيد المجرية. وهناك القليل مما يستدعى أن نتوقع اعتماد خواص الأجرام المدمجة النمطية compact components التى تقبع هناك عميقا داخل المجرات النشطة، على الحقبة الكونية. وتدعم الدراسات الأولية مبدئيا قيمة للمعامل (ق) تساوى النصف (أى قيمة الواحد الصحيح للمعامل ى)، إلا أن البرهان المستمد من ذلك لا يرقى إلى مستوى البرهان المستمد من المستعرات العظمى.

ج-هناك احتمالية أن يكون للكوازارات ذات قيمة ز عالية تأثير عدسى جذبوى يعتمد على طول المسار (وبالتعبير الفنى مسافة المقاربة[*] affine distance، وبالتالى على صورة العلاقة بين م، ن أى المعامل م باعتباره دالة فى الزمن. وأقل من ١% من حتى أعلى الكوازارات انزياحا صوب الأحمر تظهر صورا متعددة، تفصل ما بينها بضع ثوان قوسية، وهو ملمح مميز للتأثير العدسى الحادث بفعل مجرة متداخلة، ويترابط هذا مع التقديرات البسيطة المقامة على أساس النماذج الكونية القياسية. على أية حال، إذا أتاحت القيمة غير الصفرية للثابت الكونى (أ)[**] عمرا للكون أطول من مقلوب ثابت هابل، فإن مسافة المقاربة إلى الكوازارات ذات قيمة ز العالية من شأنها أن تكون أكبر من قيمها المعطاة بالكونيات القياسية. وستعمل المجرات المتداخلة بصورة أكثر كفاءة – بوصفها مصدرا للتأثير العدسى، وتخلق صورا متعددة أكثر، ذات فواصل زاوية أكبر مما يرصد [٦١]. ويأتى

(*) التحويل الأفينى affine transformation : هو تبديل فى العلاقات الهندسية: تحويل خطى تتبعه إزاحة مع الاحتفاظ بالعلاقة النسبية بين النقاط. (المترجم)

(**) الثابت الكونى cosmological constant: هو اصطلاح رياضى أدخله أينشتاين فى معادلات نظرية النسبية العامة للحصول على حل لها يلائم حالة الكون الاستياتيكى -تراجع آينشتاين عن هذا الرأى بعد أن ثبت بالدليل القاطع تمدد الكون. (المترجم)

اللايقين هنا نتيجة إمكانية تطور فى نفس المجرات التى تحدث التأثير العدسى، إلا أن هذه الطريقة ربما كانت بها الدقة الكافية لتحد من النماذج النظرية ذات القيم العالية للمعامل (أ).

٣- ٤- ٢ ثابت هابل:

تتواصل الجهود الدءوبة للاستقرار على مقياس كونى للمسافات، وعلى تحديد قيمة "ثابت هابل" هـ والذى اصطلحنا عليه كدالة باسم ٥٠ هـ. كم/ ثانية لكل ميجابارسك. ويخرج استعراض هذه الجهود عن إطار محاضراتنا هذه[٦٢]. وحسبنا هنا أن نذكر أن تقدما عظيما قد تم إحرازه منذ ذلك الحين، إذ لاح نوع من التقارب أو التصالح بين المنافحين عن قيمة هـ. ~١ وهؤلاء أنصار تحديد هـ. بالقيمة حوالى ٢. ورغم أن هذا العدد ذا الأهمية القصوى لا يتخطى مستوى الدقة فى تحديده أكثر من ٢٠%، فإن القيمة هـ. ~ ١٫٣ تقع داخل نطاق الخطأ المسموح به فى معظم التقديرات[٦٢]. على كل حال فمن يمن الطالع أن مشاكل تحديد قيمة هـ، قد تم فصلها – على الأقل بصورة جزئية – عن المشاكل المرتبطة بقياس المعاملين (ق)، (ب). وعندما تقيم الكتل على أساس من مبرهنة التقويم[*] virial theorem، أو على أساس الحركات الانسيابية على المقياس الكبير، فإن الاستدلال على قيمة المعامل أوميجا (ى) لا يتوقف على مقدار هـ.. وما يستدل عليه مما يسهم به فى (ى) من انتشار الغاز فى التجمعات بالمناطق فيما بين المجرات يميل إلى الارتفاع مع انخفاض هـ. وذلك رغم أن العلاقة الدقيقة بينهما تتوقف على العملية الفيزيائية محل الدراسة.

(*) مبرهنة حركة المقومات virial theorem: هى طريقة فى حساب الكتلة الإجمالية لقنو من المجرات من خلال سرعة تحرك المجرات المفردة فيه، وهى تؤيد ما يستنتج من احتواء المجرات على ١٠ أمثال ما نشاهده منها. (المترجم)

وتعود حساسية وأهمية إدخال هــ.ه فى القضية المطروحة هنا إلى نقطتين:

أ) عمر الكون لدى قيمة معينة للمعامل (ى)، يتناسب مع قيمة هــ.ه $^{-١}$، وتقديرات الفيزياء الفلكية لأعمار النجوم تحد الفضاء البارا مترى للنماذج المقبولة تحديدا أكثر صرامة عند قيم هــ. العالية. فمثلا إذا كانت هــ.ه أكبر من حوالى ١,٤ فمن الصعوبة بمكان أن تعثر على تعضيد لنموذج آينشتاين – دى سيتر القياسى حيث (ى)=١، وحيث يكون الزمن منذ حدوث الانفجار العظيم ثلثى زمن هابل فقط.

ب) إن عمليات التكون النووى nucleosynthesis الأولية تتوقف على كثافة الباريونات عندما كان الكون آخذا فى الابتراد بين درجتى $١٠^{١٠}$، $١٠^{٧}$ على مقياس كلفن، وبالتالى فهى تتوقف ببساطة على نسبة الباريونات إلى الفوتونات (ت). وعلى هذا فالحد الأعلى للقيمة (ى) بالتبعية يتغير تبعا لقيمة هــ.ه $^{-٢}$. فإذا كانت هــ.ه مرتفعة فقد يهبط هذا الحد الأعلى بحيث لا يتوافق مع تقديرات قيمة ى ب والتى تعتمد على أرصاد عناقيد المجرات والغاز فيما بين المجرات.

لهذين السببين لن يشعر علماء الكونيات بالارتياح، بل سيشعرون بالقيود إذا كانت التقديرات التى تأتى بها الأرصاد، مع اطراد تقدمها تنحو نحو النهاية العظمى من نطاق القيم التى هم الآن بصدد الدفاع عنها.

٣ـ ٥ مفاتيح للحل توفرها لنا خلفية الموجات فائقة الصغر:

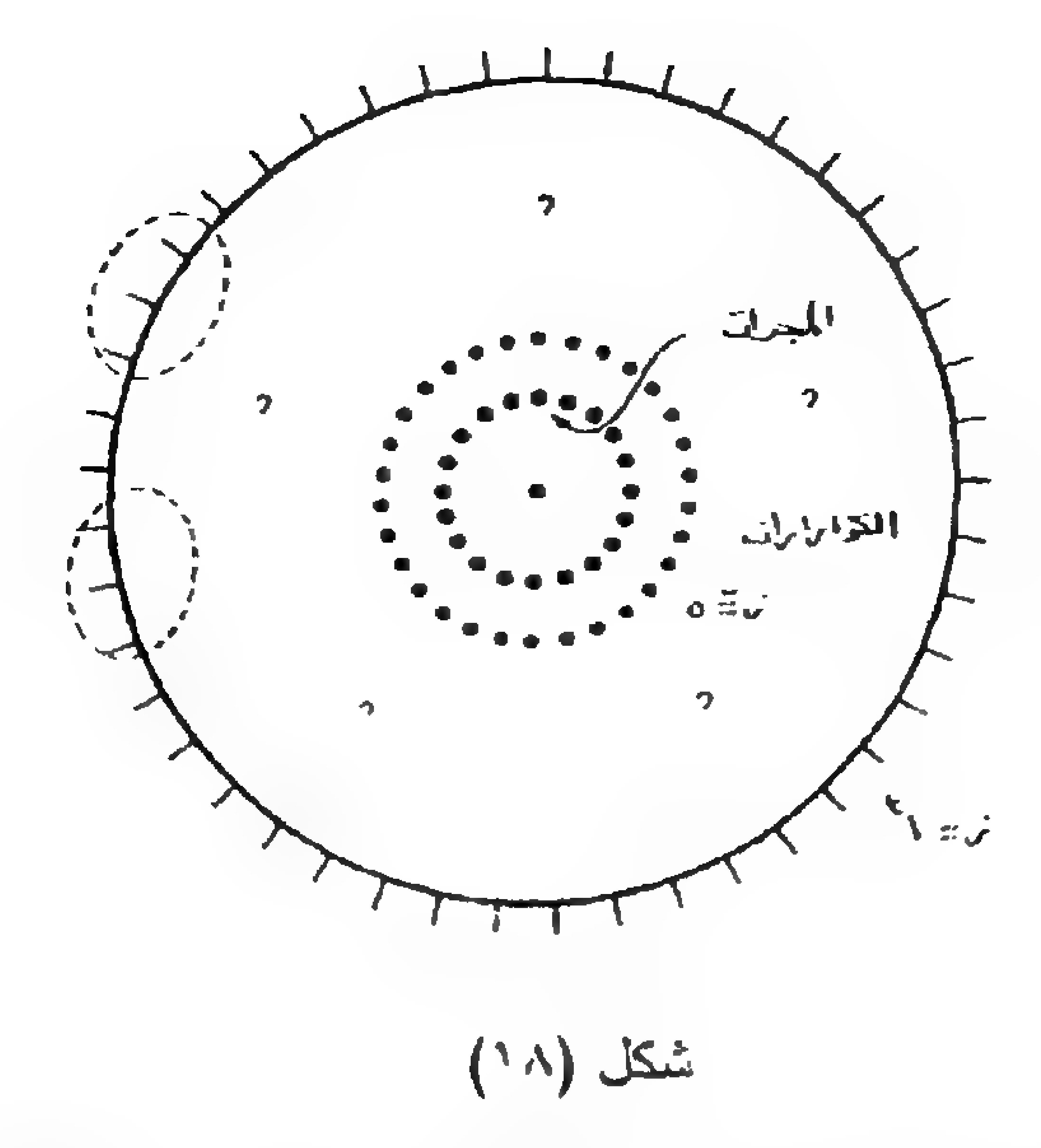
إن التذبذبات الأولية، والتى كانت طابع الكون المبكر، لا يمكن عن طريقها التعرف على أية خصوصية تتميز بها كتلة المجرة. ودرجة التجانس الإجمالية المرصودة للكون تستوجب أن تهبط القيمة ($\frac{\Delta ث}{ث}$) نحو مقاييس أكبر، وإن استمر توقعنا لوجود تذبذبات قائما. وفى الواقع فهناك حدسية طبيعية، تعود إلى "هاريسون" وزيلدوفيتش [٤٣] فى الأصل، بأن التذبذبات المترية (أو الوضعية) ض

هى هى على كل المقاييس(*). فلو أن الاضطرابات قد تعاظمت دون أن يعترضها عائق من ضغط أو لزوجة أو غيرهما، وظلت فى ازديادها مرتبطة بعلاقة خطية، لاتّخذ طيف محصلة تذبذبات الكثافة شكل العلاقة $\frac{\Delta ث}{ث}$ تتناسب مع ك – ٣/٢ (شكل١٤).

وتأتينا مجموعة مهمة من الشواهد على الطبيعة الخطية للتذبذبات وخصوصا تلك التى على المقياس الكبير، من التوزيع الزاوى من خلفية الموجات فائقة الصغر microwave background. فعندما نتطلع بعيدا بعيدا.. إلى ما خلف الكوازارات حيث يتجاوز مؤشر الانزياح الطيفى (ز) بكثير الرقم ٥، فإننا نتحسس طريقنا صوب حقبة قبل أن تكون أية تكوينات غير خطية قد تكثفت بعد. ويأتى الإشعاع الخلفى من الموجات فائقة الصغر من مناطق يبلغ المؤشر (ز) فيها القيمة ١٠٠٠. إن طابع عدم التجانس على المقياس الكبير والذى كان موجودا سلفا فى تلك الحقبة من شأنه أن يحدث بالإشعاع الخلفى شيئا من عدم الانتظام اليسير عبر السماء: فالفوتونات التى يعود أصلها إلى عنقود فوقى أولى، يمتد فى غير ما انتظام فوق آخر سطح للتبعثر(**)، من شأنها أن تعانى من انزياح جذبوى إضافى ناحية الأحمر، فتتسلق خارجة من بئر (مجال) الوضع، ومن ثم تظهر أبرد –إلى حد ما– من تلك التى تبرز من فراغ أولى (انظر شكل ١٨).

(*) تفترض حدسية هاريسون وزيلدوفيتش أن الطيف الناجم عن الاضطرابات فى توزع المادة فى الكون المبكر الأول أصبح فيما بعد بالتكوين الذى نرصده الآن.

(**) آخر سطح للتبعثر: هو سطح قشرة كروية تخيلية يحيط بالراصد نصف قطره يساوى المسافة التى قطعها الفوتون منذ آخر تشتت له لدى مرحلة عودة الاندماج. (المترجم)



شكل (١٨)

يصور هذا الرسم سطوح انزياح مختلفة صوب الأحمر، بالنظر للوراء نحو مخروط الضوء الماضى(*). يناظر النطاق ٥ ≤ ز ≤ الحقبة الزمنية ١٠ ⁶ ≤ ن ≤ ١٠ ⁹ سنة. والاستدلال الإضافى على هذا النطاق سيساعد على التمييز بين سيناريوهات تكون المجرات المبينة بشكل (١٣). وعدم التجانس فى المجال الجذبوى الذى يمتد على جانبى سطح التبعثر الأخير عند القيمة ز=١٠٠٠. ومن شأن العناقيد المجرية الأولية أو الفراغات الأولية (بين المجرات) أن تحدث تكوينا زاويا فى درجة حرارة خلفية الموجات متناهية الصغر بحيث تكون $\frac{\Delta ت}{ت}$ فى حدود ض(سعة ذبذبة تذبذب الانحناء) (وعلى مقاييس زاوية أصغر لا بد وأنه كان هناك إسهام من ظاهرة دوبلر فى $\frac{\Delta ت}{ت}$ ، ومع الزوايا الصغيرة ربما ضعفت قيمة بتحول الكون التدريجى فقط من العتامة إلى الشفافية، ومن ثم لا يكون هناك حد قاطع لسطح التشتت بصورة تامة).

(*) المخروط الضوئى light cone: هو حيز من الزمان -المكان (الزمكان) يحدد الاتجاهات المحتملة لأشعة الضوء التى تمر عبر حدث معين. (المترجم)

والتكهن الأكثر قوة بالنسبة للأكوان الانتفاخية هو أن ى= ١. وعلى كل، فهذه الأكوان تقودنا إلى توقع أن تكون التذبذبات حقا مقاربة لطيف "هاريسون – زيلدوفيتش (الذى لا يتوقف على المقياس) فالتذبذبات فى الانحناء والمكافئة للتذبذبات فى المجال الجذبوى، يجب أن توجد بنفس سعة الذبذبة تقريبا لدى كل المقاييس. ويتطلب هذا أن يكون هناك رقم كونى (سحرى) للسعة ض، مرتبط باضطرابات الكثافة لدى عودة الاندماج، بمعادلة بسيطة. وأضخم آبار مجالات جذبوية فى الكون الحالى هى تلك الموجودة بعناقيد المجرات الغنية، والتى تصل السرعات المقومة (ع ق) فيها لحدود ١٠٠٠ كيلومتر فى الثانية. والمجال المناظر غير ذى الأبعاد يساوى (ع ق÷ س)^٢(*) = ١٠^-٥، ويشير هذا إلى أنه إذا كانت التذبذبات الطولية هى هى حقا لدى كل المقاييس فإن للمعامل ض تقريبا هذه القيمة (٦٣).

ولو لم تكن هذه التذبذبات موجودة سلفا خلال حقبة عودة الاندماج بسعة ذبذبة= ١٠^-٥، فلا بد وأن قوى ما ذات كفاءة أعلى من كفاءة الجاذبية احتيجت، كى تجذب عناقيد المجرات وما فوق العناقيد وتضمها معا فى وقتنا الحالى. وبالتبعية كان هناك منذ سبعينيات القرن العشرين حافز قوى للبحث عن (بصمات) لهذه التذبذبات فى خلفية الموجات فائقة الصغر، سيبدو الإشعاع من عنقود أولى على سطح آخر تبعثر أبرد قليلا، إذ يتوجب عليه أن يتسلق جدار (بئر المجال). وقد وضعت –باطراد– قيم أعلى للحدود القصوى من خلال تجارب متنوعة. وقد تحققت أولى النتائج الإيجابية عام ١٩٩٢ من تجارب المقياس الراديوى لفروق الموجات فائقة الصغر(**) DMR على القمر الصناعى COBE (١٠).وقد أثمرت هذه التجارب على مدار ٤ سنوات أكداسا من البيانات، وحددت قيمة للمعامل ض لا يشوبها – نسبيا – الغموض، بمقدار يقع داخل نطاق التوقع (٦٣،١). وقد كفلت برهانا مباشرا على تذبذبات على المقياس الكبير، لا بد وأن يعود أصلها إلى الكون المبكر للغاية (انظر الباب السادس).

(*) ع ق هى السرعة المقومة virial velocity. (المترجم)

(**) اصطلاح DMR هو اختصار differential microwave radiometer (المترجم)

لقد أعطت البيانات من القمر الصناعى COBE على المقياس الزاوى سبع درجات وأكثر، وهو ما يناظر مقاييس خطية حاليا تتخطى ٥٠٠ هـ-١ ميجابارسك (لدى ى =١). ولاستشعار (الأسلاف العلويين) للعناقيد المجرية وما فوق العناقيد تلزمنا قياسات بتكبيرات زاوية مقدارها نحو الدرجة أو أقل. وتتسم الفيزيائيات المرتبطة بهذه التبذبات ذات المقياس الصغير - نوعا ما - بالتعقيد، فدرجة الحرارة لا تتأثر بالجاذبية فقط كما هو الحال فى المقاييس الكبيرة، بل تهيمن على التذبذبات مركبات دوبلر ومركبات صوتية بسبب السرعات التى تولدها الجاذبية، وبالانحدارات المتدرجة فى الضغط الإشعاعى. وتقتصر هذه المؤثرات الإضافية على المقاييس الأصغر من الأفق السببى[*] causal horizon. وهذا المقياس (وهو جوهريا - ذو طول صحيح يبلغ عددا من المرات قدر عمر الكون لدى إعادة الاندماج) يناظر مقياسا زاويًا قدره ($٢\sqrt{ى}$) درجة. وتوقف هذه الزاوية على المعامل (ى). يعنى أن قياسات تذبذبات درجة الحرارة تمثل اختبارًا كونيا له طرافته.

وتعتمد التذبذبات المتوقعة عند هذه المقادير الزاوية الصغيرة، على شكل التذبذبات وعلى الإسهامات النسبية للباريونات والمادة المعتمة فى المعامل (ى). وتزداد درجـــة تعقـــد اعتمادهـــا علـــى (ى) لدى المقادير الزاوية الصغيرة (و) (أو بعبارة أخرى على هارمونيات (توافقات) كروية أعلى ر). ومن المتوقع أن تحدث قمة فى تأثير دوبلر[**] فى $\frac{\Delta د}{د}$ عند زاوية مقدارها نحو الدرجة الواحدة (لدى ى=١) وزاوية أقل مع انخفاض (ى). ولدى نطاقات أصغر من الزوايا يزداد تعقد التوقف على المقدار (و) (أو على ر). وإذا قلت الزاوية عن ١٠ دقائق قوسية (والزاوية الحقيقية تتوقف على ى والمتغيرات الأخرى)، ضعفت التذبذبات لأن

(*) أى النطاق الذى توجد فى داخله علاقة سببية. (المترجم)

(**) يعنى تأثير دوبلر انزياح الطيف نحو الأحمر فى حالة تباعد الأجرام، ونحو الأزرق فى حالة تقاربها.

عودة الاندماج، وبالتبعية انفصال الفوتونات عن الباريونات - عملية تدريجية، وبعبارة أخرى يحدث "التشتت الأخير" على سطح هو ذاته مشوش غائم.

إذا كان لأول قمة دوبلرية مقياس فى حدود درجة واحدة فسيتعارض هذا مع قيمة منخفضة للمعامل (ى)، إذ لو أن (ى) تقل - مثلا - عن ٠,١ أو تصل لها فإن الأفق السببى سيحد من التأثيرات الصوتية ويقصرها على نطاق زاوى يقل كثيرا عن درجة واحدة.

وقد حسبت التكهنات التفصيلية بالتذبذب المتوقع فى درجة الحرارة عبر هذا النطاق الطريف من الزاوية، طبقا لطائفة من الافتراضات للتذبذبات الابتدائية، والمادة القاتمة والمعامل ى، ى ب، ولو أننا ملمون حقا بمقادير الإسهام فى سعة هذه التذبذبات لدى كل مقياس زاوى (أى لكل توافق كروى) فسيتضح الكثير من الأرقام الكونية ذات الدلالة. وقد حفز هذا التحقق مجموعات عمل عديدة لاستكمال بيانات القمر COBE، بإجراء تجارب مع دقة أكبر فى قياسات الزوايا. ولقد أجريت بالفعل أكثر من عشر عمليات قياس من على سطح الأرض أو من بالونات بالفضاء. وتغطى هذه القياسات منطقة صغيرة من السماء فحسب، وهى بطبيعة الحال عرضة لضوضاء أو تشويش إضافى آت من جو الأرض. على أية حال فيبدو أنه قد توفر دليل كاف على وجود "قمة دوبلرية" عند زاوية ١- ٢ درجة، وهو ما يطرح مشكلات عن كون ذى معامل ى منخفض. (وهناك اشتراط مهم على كل حال، وهو أن هذه التقنية تستشعر درجة تسطح الكون وبالتالى تشمل أية إسهامات من الفراغ نفسه (أى ثابت آينشتاين الكونى أ) ومن جهة أخرى يتسبب الثابت أ فى تسارع أكثر من تسببه فى تباطؤ. ومن ثم فمن الممكن التوفيق ما بين زاوية كبيرة لقمة دوبلر مع كثافة منخفضة للمادة المعتمة (وتباطؤ صغير، بل حتى تسارع فى التمدد الكونى) بافتراض أن معظم الطاقة التى تؤدى إلى تسطح الكون هى فى الفراغ.

وستأتى الطفرة التالية إلى الأمام مع إطلاق مركبة الفضاء MAP التابعة لوكالة ناسا فى عام ٢٠٠٠، وجهاز مسح بلانك التابع لـ ESA(*) بعدها ببضع سنوات، وهو ما نأمل فى أن يحقق التفريق الزاوى اللازم، مع تغطية لكل السماء، شأنه شأن القمر COBE.

وينبغى أن ينظر إلى النتائج التى جلبها القمر COBE بوصفها خطوة حيوية فى برنامج عمل دائم نحو تطوير وتحسين التقنيات، بما يشمل عدة مجموعات عمل. وبمقدورنا أن نتصور أن الكون المبكر كان ناعما سلسا كما سطح المحيط. صحيح أن هناك انحناءات وتموجات وتذبذبات، ولكنك إذا نظرت من الجو إلى المحيط، فقد يبدو لك للوهلة الأولى صقيلا مثاليا فى استوائه. ولكن إذا أمعنت النظر، فستبدأ فى تبين بعض الموجات. وباطراد تحسن ملاحظتك قليلا، بوسعك أن تدرس الموجات فى إحصاء تفصيلى. هل للموجات شكل توزيع جاوس؟ ما علاقة مدى تذبذبها بالمقياس؟ وهذا تعبير مجازى عن المرحلة المثيرة التى نحن بصدد ولوجها الآن فى دراستنا لخلفية الأشعة متناهية الصغر.

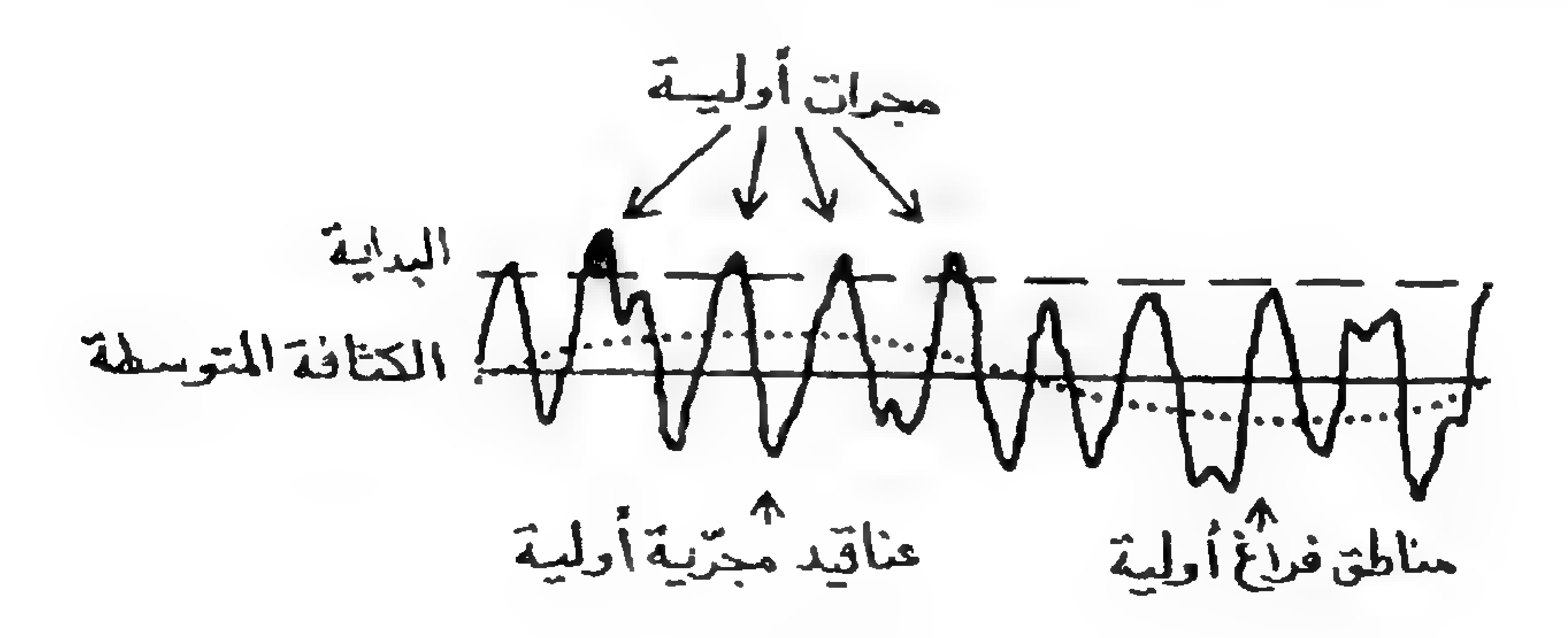
٣ـ ٦ دور المكون الباريونى فى تبديد الطاقة:

فى الكون الآخذ فى التمدد، تهيمن المادة المعتمة على التجمع فى عناقيد بتأثير الجاذبية وتعتمد محصلة ذلك على شكل التذبذبات الأولية وكذلك على قيمة (ى) المفترضة. ومن ناحية المبدأ يمكن نمذجة توزيع الكتلة فى المنظومات المقومة والمنعزلة من خلال المحاكاة النونيةN- body simulations، بادئين من اضطرابات خطية معينة بعد لحظة عودة الاندماج مباشرة (قارن بشكل ١٣)، ولكن حتى لو تم وضع نموذج سليم لتجمع المادة المعتمة تجمعا لا يعتريه تشتت فإن مصير الجزء الباريونى – كم من الغاز يسقط داخل كل بئر مجال، وكم منه

(*) صدر الكتاب عام ٢٠٠٠، قبل إطلاق مركبة الفضاء MAP فعلا فى ٢٠٠١/٦/٣٠ من فلوريدا، وجهاز مسح بلانك فى ٢٠٠٩/٥/١٤ من جيانا الفرنسية. (المترجم)

سيُحتفظ به - يشمل ديناميكيات غازية معقدة. ولكى نتكهن بما ستصبح عليه هيئة الكون - من حيث درجة لمعان المجرات وكيفية تجمعها فى عناقيد - يلزمنا أن نستوعب سلوك الباريونات. فهى تحت تأثير مؤثرات فيزيائية عديدة - بخلاف الجاذبية. ومن شأن الباريونات أن تستقر فى هالات مقومة virialised من المادة المعتمة فى نطاق كتلى ما بين ١٠ ^٨^ إلى ١٠ ^١٢^ك ش: وللكتل الأعلى من ذلك، لن يتسم أثر التبريد فى تبديد الطاقة بالكفاءة للسبب الذى سلف ذكره (قارن بشكل ٨). وآبار المجال عند قيم كتلة أقل من ١٠ ^٨^ ك ش قد تكون أقل عمقا من أن تحبس الغاز الأولى وتحتفظ به.

وهناك علل فيزيائية تدفعنا إلى أن نتوقع اعتماد عملية تكون مجرة ساطعة - بدقة فائقة - على عمق آبار مجال طاقة الهالة مثلا. ومن شأن المجرات البراقة أن تتجمهر بصورة أكبر من الكتلة[٦٤] لنفس السبب الذى من أجله تأتى أعلى الموجات - عند تموج سطح المحيط - فى شكل جماعات: ويرتفع احتمال حدوث موجات ذات ارتفاع استثنائى إذا هى جمعت فى شكل تذبذبات موجبة على المقياس الكبير (تجمع عنقودى ابتدائى أكثر منها فراغا ابتدائيا) (شكل ١٩).



شكل (١٩)

إذا تكونت المجرات - بصورة تفضيلية - من قمم ذات سعات ذبذبات استثنائية فى ارتفاعها فى مجال كثافة ذى توزيع جرسى، فإنها تعزز الاتجاه نحو التجمع العنقودى (أو الانحياز)، لأن احتمال حدوث قمة عالية سريع التأثر جدا بما إذا كان هناك إسهام إيجابى، أو لم يكن من الموجات الأطول فى سعة الذبذبة.

ودرجة الانحياز biasing لها أهميتها فى تقدير المعامل (ى) من الانسياب على المقياس الكبير (معادلة ١). على أن الانحياز ليس مجرد ابتكار - فى هذه الحالة- يسهل التوفيق بين النموذج الجذاب (حيث ى=١) مع الأدلة الواضحة التى تعارضه. وهناك أسباب كافية للشك فيما إذا كانت المجرات البراقة تتبع بالضبط نفس هيئة التوزيعة الكلية للكتلة [٦٥]. على أية حال يتضمن الموضوع فيزيائيات معقدة بحيث لا نستطيع واقعيا أن نتوقع مدى كفاءة عملية تكون المجرة، فى جميع المواضع وعلى كل المقاييس بحيث يمكن توصيفها بمعامل حيود مفرد (ب) وسيعتمد الحيود على نوع المجرة وعلى جيب تمام الحقبة الكونية كذلك.

٣- ٧ هل هناك فرضية بسيطة تتوافق مع كل المعطيات (البيانات)؟

إذا كانت قيمة (ى) معروفة، وكذلك سعة الذبذبة ض وطبيعة المادة القاتمة، فإن تطور التذبذبات فى النموذج regime اللاخطى يمكن تتبعه رقميا. والهدف هو اختبار ما إذا كان توزيع المادة المعتمة حاليا متوافقا مع ما نرصده ونستدل عليه على مقياس المجرات، والعناقيد وما فوق العناقيد - فى ظل الافتراضات الطبيعية للذبذبات الابتدائية.

وهناك إجماع عام على أن النموذج النظرى الذى يتضمن مادة معتمة حارة صرفة - وبعبارة أخرى نيوترينوهات فقط- لا يتوافق مع البيانات الحالية[٦٦]. وما هو أدعى للنقاش حوله، أىٌ من النماذج النظرية- الأخرى يحقق توافقا كافيا. والصعوبة الرئيسية فى مواجهة حصيلة هذه الحسابات مـــع الكون الواقعى هى أنه

– وحتى مؤخرا – لم تتضمن نماذج المحاكاة حقا إلا المادة الجاذبية غير المبددة. ومن ثم فإنها تتنبأ بالتوزيع الحالى للمادة المعتمة. وقد يكون هذا متسقا فى حالة المقاييس الكبيرة، عندما تكون العلاقات لازالت خطية وليس هناك تغير حادث فى انفصال الباريونات عن المادة القاتمة.

ويمكن أن تتضمن نماذج المحاكاة الآن – وبدرجة كافية من الاعتمادية ديناميكيات الغاز باعتباره طريقة صالحة لنمذجة سلوك الغاز فى العناقيد المجرية (وكذلك – وكما يناقش الباب الخامس – السحب الغازية والخيوط على المقياس الأصغر، والتى تعطى ملامح الامتصاص المعقدة فى أطياف الكوازارات).

على أن الأمور تصل إلى درجة متناهية فى التعقد عند حساب بداية نشأة النجم، مع ما يأتى من تغذية عكسية عن طريق الطاقة الواردة من المستعرات العظمى وما إليها. فتكوّن الأقراص سريعة الدوران مثل أندروميدا والطريق اللبنى (والعناقيد المقومة مثل كوما coma) يتضمن حتى فيزيائيات ذات درجة أعلى من عدم التيقن.

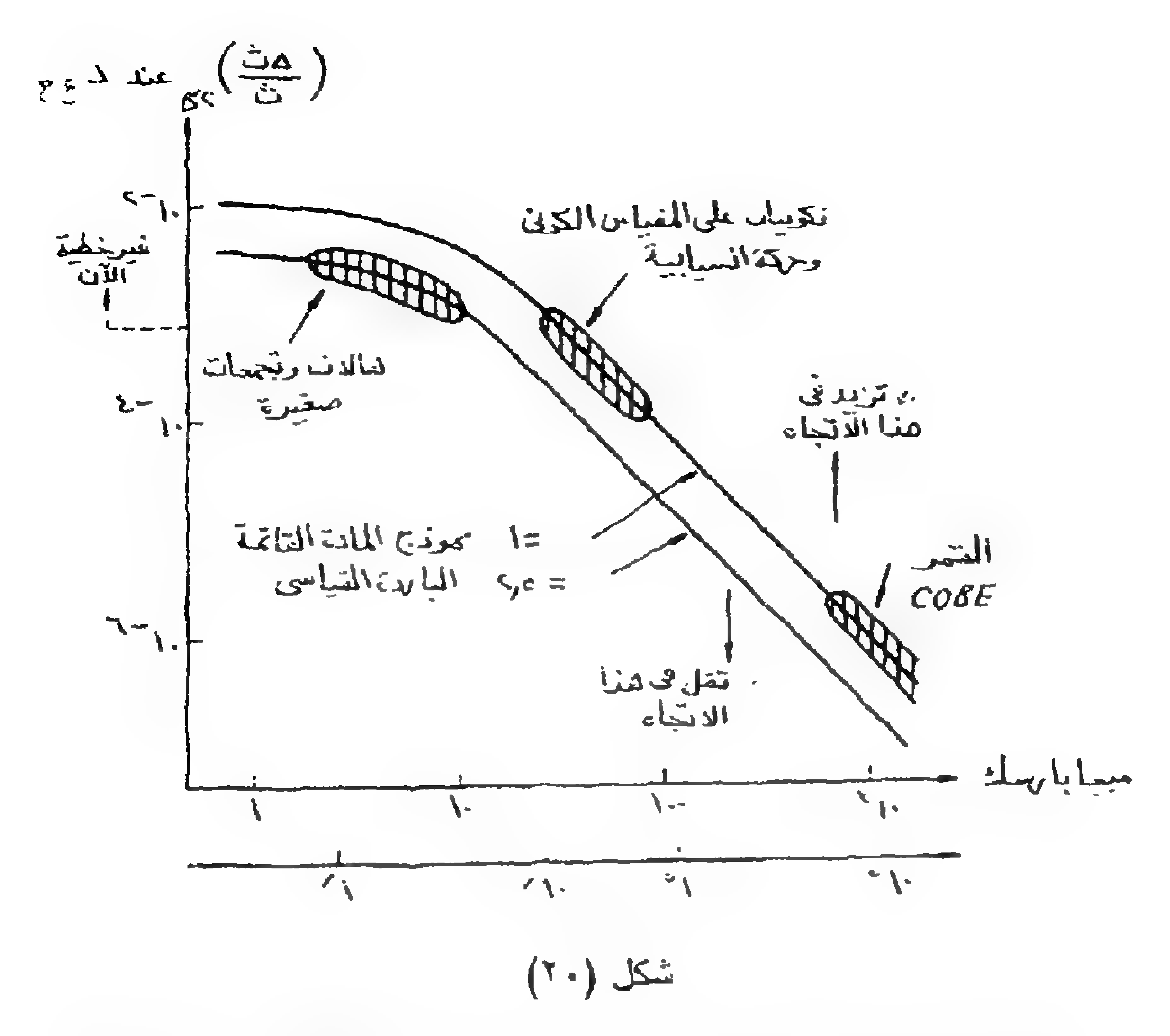
وغالبا ما تكون الطرز أو النمــاذج النظــرية ذات طبيعة مرحلية انتقالية، إلا أن ما يطلق عليه "نموذج المادة القاتمة الباردة CDM القياسى" قد تم بحثه على مدى أكثر من عقد (٤٢، ٤٤– ٤٦، ٦٧)، وفى خلال ذلك الوقت أفاد بوصفه علامة فارقة للتمييز ومقارنة البيانات. ويوصف هذا النموذج بالتالى:

أ– يغلب على المادة القاتمة الوجود فى شكل بارد غير تبديدى (مثل الويمبات أو الأكسيونات غير المرئية).

ب– المعامل (ى) يساوى الوحدة.

ج–التذبذبات الابتدائية تتبع توزيع جاوس ولها طيف لا يعتمد على المقياس (أى من نوع هاريسون – زيلدوفيتش) ونسبة الباريونات للفوتونات (ت) هى هى فى كل مكان.

وعندما تتعدل – بصورة صحيحة – سعة ذبذبة التذبذبات الابتدائية– يفسر لنا نموذج المادة القاتمة الباردة القياسى بدرجة مقنعة خواص تلك المجرات وتجمعاتها وعناقيدها. ومن المسلم به أن هذا التوافق لا يتحقق إلا بالاختيار الملائم (وإن لم يكن مقبولا ظاهريا) للمعاملات المتغيرة التى تحكم تكون النجوم [٦٧]. على أن النجاحات تقدم دعما فى ظل ظروف بعينها لفكرة أن المادة القاتمة فى صورة ويمبات أو أكسيونات. وكما سيلى فيما بعد فالتذبذبات على مقاييس العناقيد الفوقية، وقيمة سعة الذبذبة ض طبقا لفرضية هاريسون زيلدوفيتش، والمستدل عليها من عدم التجانس فى خلفية الموجات فائقة الصغر تبدو أكبر، بالنسبة لتلك الحادثة على المقاييس الأصغر، مما هو متوقع بالنسبة لنموذج "المادة القاتمة الباردة" القياسى. وإذا قورن بالبيانات المستقبلية، فإن ذلك يقتضى تعديلات على الأقل فى واحد من الافتراضات الثلاثة السابقة. على أية حال يمكن أن تشمل التعديلات الافتراضين الثانى والثالث، أو خيارا مفرقا للبارامترات التى تحكم تكون النجم (والتى هى بدورها تحدد معامل الحيود الذى يربط ما بين توزيع المجرة إلى توزيع المادة القاتمة. ولا يشكك ذلك بالضرورة فى ترشيح الومبات والأكسيونات كمصدر للمادة القاتمة. ويقدم نموذج "المادة القاتمة الباردة" القياسى قالبا مفيدا لمقارنة نتائج المقاييس المختلفة (انظر شكل ٢٠ وشرحه).



شكل (٢٠)

يوضح المحور الرأسي سعة ذبذبات التقلبات فى الكثافة لدى حقبة عودة الاندماج (عند ز=١٠٠٠). فنموذج المادة القاتمة الباردة CDM والذى لا يعتمد على المقياس (أى من نوع هاريسون- زيلدوفيتش)، يعطى التذبذبات الأصلية فى مقدار الانحناء، كخطوط متصلة. وموقع بالشكل حالتان للتطبيع: تناظران قيما بعينها لمعامل الانحياز (ب). إن قياسات القمر الصناعى COBE على مقياس زاوى يساوى ١٠ درجات أو يتجاوزها، والأدلة على وجود عناقيد مجرية على مقياس كبير وتحركات المجرات، تميل كلها إلى تحبيذ المنحنى العلوى من المنحنيين المبينين، إلا أن المنحنى السفلى يعطى تطابقا أفضل مع خواص المجرات المنفردة والمجموعات الصغيرة مما نرصده اليوم. وبأخذهما معا فى الاعتبار يلوح أن

البيانات تقتضى طيفا ذا قوة أقل نسبيا- على المقاييس الصغيرة- من نموذج المادة القاتمة الباردة، إلا أنه من المقنع والمرضى أنه يمكن توفيقه فى حدود معامل٢، وأن المسألة قد تقدمت إلى مرحلة حيث يمكن أن نميز ما بين النماذج البسيطة، بل وأن نهذبها. ووجود مجرات ذات قيمة (ز) تساوى ٥ تقريبا يضع حدا أدنى -ليس موقعا على الرسم) لقيمة $\frac{\Delta \text{ث}}{\text{ث}}$ على مقياس ١ ميجابارسك تقريبا. والمقياس الخطى على المحور الأفقى يناظر قيمة لثابت هابل تساوى ٥٠ كم/ ث لكل ميجابارسك حيث هـــ$_{٠}$=١

إن سعة الذبذبة المستدل عليها من القمر الصناعى COBE مترابطة بصورة تقريبية مع ما يستدل عليه من التكوينات على المقياس الكبير ومن الانسياب. على أية حال يظهر عدم ترابط عند استقراء طيف له هذا التطبيع وتطبيقه على مقاييس عناقيد المجرات، والمجموعات الصغيرة والهالات المفردة[٦٨]. والبيانات الأخيرة تتوافق مع طيف نموذج المادة القاتمة الباردة، لكن فقط إذا كانت سعة الذبذبة أقل بمعامل مقداره ٢ عما هو مطلوب لتوافق جيد على مقاييس أكبر. ففى الأيام الأولى من تطبيق نموذج المادة القاتمة الباردة، بدا التطبيع على المقياس الصغير أكثر صلاحية للاعتماد عليه. على أية حال، فلدينا الآن تقديرات أفضل للتكوينات على المقياس الكبير، كما أن بحوزتنا بيانات أكثر وفرة عن خلفية الموجات متناهية الصغر. ويبدو من الحتمى استنتاج أن طيف المادة القاتمة الباردة القياسى ذو شكل خاطئ. ونحن فى حاجة لشىء ما يتزايد نحو المقاييس الأصغر بمعدل أقل مما يفعل نموذج المادة القاتمة الباردة.

وقد اقترح عدد من الإمكانات. فقد يكون طيف تذبذبات الانحناء الأصلى قد حاد بحيث يتزايد نحو مقاييس أكبر بالنسبة لطيف هاريسون- زيلدوفيتش[٦٩]. وقد استكشف بعض المؤلفين كيف يمكن أن تعزز السعات على المقياس الكبير بالنسبة للمقاييس الصغيرة إذا كانت لأثقل أنواع النيوترينوهات كتلة تساوى تقريبا ٥ إلكترون فولت، وبالتبعية إذا أسهمت بحوالى ٠,٢ فى قيمة المعامل (ى) ولا تحبذ

لا التجارب على النيوترينو، ولا الحسابات التفصيلية عن نشوء التكوينات، هذه الافتراضية. ويبدو أن مجمل إسهامات المادة القاتمة فى قيمة (ى) لا تتجاوز ٠٫٣ ولأن هذا يؤخر حقبة تحقق الاتزان فمن الطبيعى أن يحرف ذلك نقطة الانعكاس فى تذبذبات المادة القاتمة الباردة نحو مقاييس أكبر إذا كانت ى = ١، ومن ثم يتيح توافقا أفضل.

ويتعين أن تتوافق نماذج المحاكاة مع البيانات عن العناقيد المجرية فى الحقبة الراهنة. وعلى كل حال، عندما يتحقق هذا فهناك اختبار مستقل: هل يتنبأ النموذج بعلاقة كيفية التجمع المجرى بقيمة (ز) المرصودة؟ إن هناك اتجاها عاما فى التطور الحديث بأن يكون أكثر انحدارا عند قيم (ى) المرتفعة. فلقيم ٠ى) المنخفضة، (سيتجمد) التكوين على المقياس الكبير عندما تقل القيمة (١+ز) عن ى/١) وبالإمكان الآن - بصريا- استشعار تجمع عناقيد المجرات ذات قيمة (ز) أقل من الوحدة أو من خلال انبعاثاتها من الأشعة السينية.

وهناك برهان ساطع على أن تجمعات العناقيد فى توزيع متكتل تتزايد مع الزمن الكونى، حتى فى عينة محددة بحيود نحو الأحمر (ز) يقل عن ٠٫٥ ويتوافق هذا من الناحية النوعية مع التوقعات فى نماذج التدرج الهرمى، والتى طبقا لها من شأن التجمعات الكبيرة أن تتكون فقط حديثا كمحصلة لاندماج تجمعات أصغر، بيد أن هناك الكثير جدا من العناقيد ذات قيمة (ز) كبيرة تتوافق مع التطور ذى الانحدار الحاد الذى يتوقع مع قيمة ى=١. والمجرات ذاتها يمكن الآن رصدها حتى قيمة (ز) أكبر من ٣. والمعدل المتوسط لتكون النجوم (والذى يشير إليه ناتج الضوء الأزرق للنجوم حديثة السن) يبدو أن له قيمة قصوى [٧١] عند حيود صوب الأحمر يتراوح بين ١، ٢. ويتناقص المعدل عند الانحرافات الأقل نحو الأحمر، فأغلب الغاز فى المجرات يُستنفد باطراد. كما أن هناك تناقصا فى ناحية الانحراف الأعلى نحو الأحمر، ففى الأزمنة المبكرة يكون تَكَوُّن النجوم فى بدايته (رغم وجود عدم يقين هنا لأن بعض النجوم قد تكون محجوبة بالغبار). وما زالت عملية

تَكَوُّن النجوم تعانى من نقص فهمنا لها، مما يحد من النظريات التى تفسرها، عما نحتاج إليه لدرجة أن يعض المنظومات – على المقياس المجرى – لا بد وأن تتكثف – على الأقل – قبل قيم ز=٥. وتمثل الكوازارات مفاتيح متميزة للاطلاع على المراحل المبكرة من تطور المجرات، وعلى ما حدث مباشرة بعد انهيار أول تكوينات محكومة. وسنعود إلى ذلك فى الباب التالى.

الباب الرابع

٤ ـ الكوازارات (أشباه النجوم) والدراسة الإحصائية لها

٤ـ ١ الكوازارات وحقبة تشكل المجرات

٤- ١- ١ توزيع الكوازارات وعلاقته بالمعامل z (ز)

إن المجرات، تلك المنظومات الحلزونية ذات الشكل الشبيه بالقرص مثل المجرة، التى ننتمى إليها (الطريق اللبنى) وكذلك المجرات الإهليلجية ذات الشكل الأقل بهاء، هى اللبنات الأساسية فى بناء الكون، والضوء الذى نرصده من غالبية المجرات هو فى الأساس المحصلة الإجمالية لضوء بلايين النجوم التى تُكَوِّنها. ونحن نعلم منذ ما يربو على الثلاثين عاما أن بعض المجرات ليست مجرد حشد من نجوم وغاز. فلبعضها نواة مركزية براقة قد يكون إشعاعها آتيا من نجوم اعتيادية. وأعظم النوى المجرية النشطة Active galactic nuclei (AGN) والتى لا يزيد حجم مركزها عن حجم منظومتنا الشمسية، يفوق سطوعها بمراحل لمعان كل نجوم المجرة التى تحتويها مجتمعة (وعددها نحو ١٠ ١١ نجم) هى الكوازار أو شبه النجم، كيف تتطور هذه النوى المجرية النشطة ولماذا؟ ما زال الغموض يكتنف كثيرا من النواحى المتعلقة بهذا التساؤل. وهناك إجماع قوى على أنها تحصل على طاقتها – فى المقام الأول – من الجاذبية (أرجح من حصولها عليها من الطاقة النووية مثلا)، وأنه – لكى يكون لها من الكفاءة ما يكفى– فلا بد وأن هناك بئر طاقة عميقا– طبقا لنظرية النسبية. ويتسم النموذج التفصيلى لتولد هذه الطاقة الابتدائية بالتعقيد، وما زال – فى كثير من جوانبه – محل جدال، ولكن يبدو أن النجوم والغاز فى مراكز بعض المجرات تتكدس بالقرب من بعضها

للدرجة التى يتولد معها نوع من الحوادث العنيفة الخارجة عن حدود السيطرة. وقد يكون هذا النشاط العنيف فى حياة المجرة طورا قصير الأجل نسبيا، بيد أن مقدار الطاقة فى خلال الطور النشط للكوازار (شبه النجم) ربما كان معادلا للكتلة الساكنة لأكثر من ١٠ ^٧ شمس.

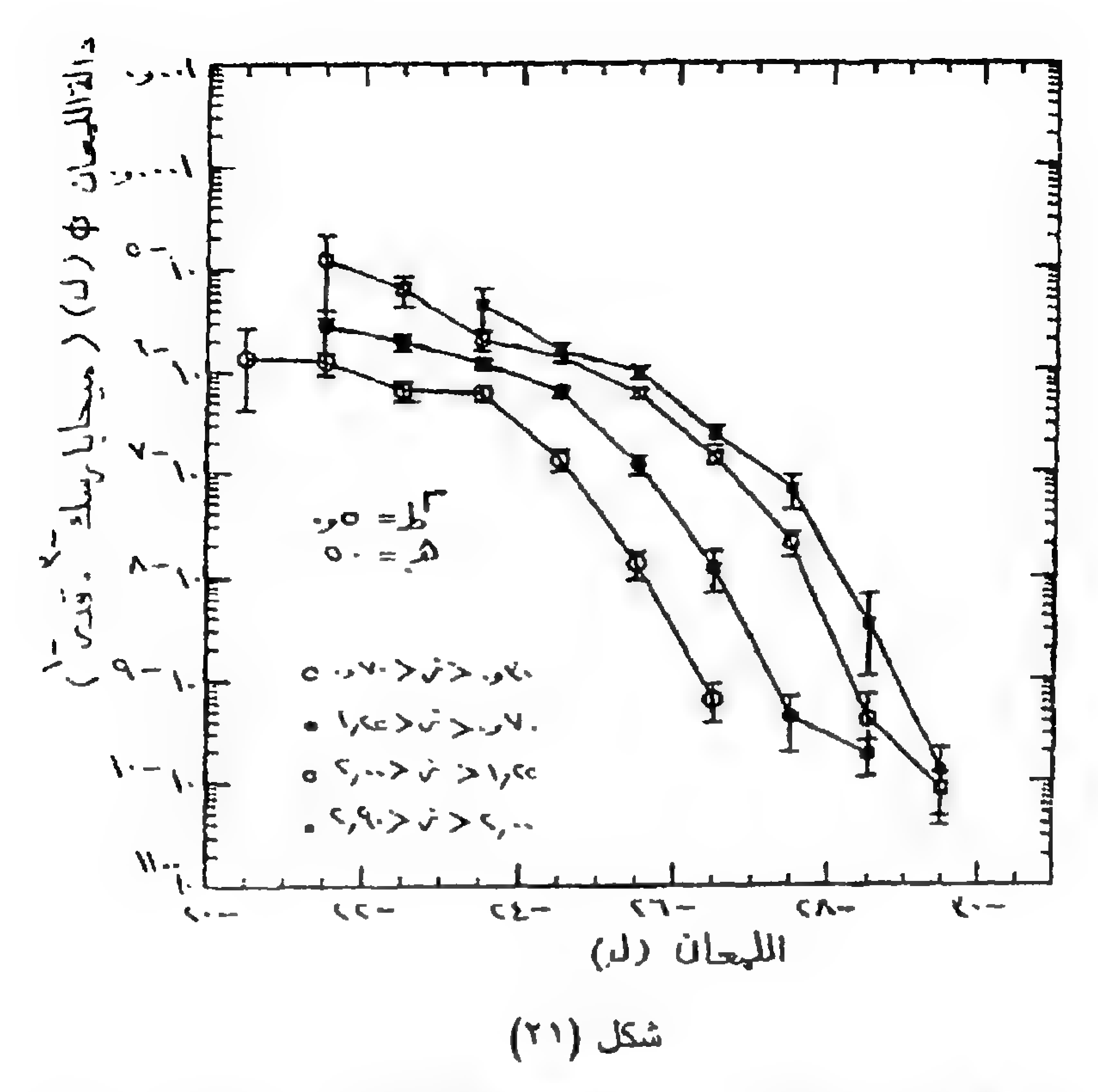
وتعود أهمية أشباه النجوم – من ناحية علم الكونيات – لسببين: أولهما أنها تنبئنا أن تَكَوُّن المجرة – حتى فى حالة الانزياحات العالية صوب الأحمر – قد خطا خطوات واسعة ليسمح لمثل هذه الأشياء أن تتكون، وثانيهما (وكما هو مشروح بالفصل الخامس) إنها تصلح باعتبارها مسبارا أو أداة استشعار للوسط الذى يتداخل عبر خط مشاهدتها.

لقد نسقت الآن آلاف الجداول المفهرسة عن أشباه النجوم، وأتاحت المسوحات المنسقة – طبقا لمنهج مدروس – لعلماء الفلك أن يستخلصوا عدد أشباه النجوم التى وجدت خلال الحقب المختلفة من عمر الكون. والملمح الأجدر بالملاحظة فى تعداد أشباه النجوم وتجمعاتها هو تناقص أعدادها تناقصا حادا ما بين القيمة ز=٢، والحقبة الحالية (حيث ز= صفرا). لقد عرفنا ذلك منذ الستينيات، بل وتخيلناه وتصورناه حتى منذ وقت أكثر تبكيرا بحسابات المصادر الراديوية [٥] (والتى كانت وقتها محل جدل). إن أقرب شبه نجم متألق منا (3C273) يقع على بعد ٥٠٠ ميجاربارسك. وعند القيمة (ز) ما بين ٢، ٢,٥ يقع أقرب كوازار على بعد ٠,٣/١ من هذه المسافة، ويصل لمعانه إلى نجم من القدر الرابع[*] (إنها لمفارقة ساخرة

(*) قسم الأقدمون الأجرام السماوية طبقا للمعانها الظاهرى إلى ستة أقسام (أو أقدار magnitudes)، فأعطوا للنجوم ذات اللمعان الشديد القدر الأول، والتى تقل عنها القدر الثانى وهكذا، وأشد النجوم خفوتا وإن كانت تشاهد بالعين المجردة من القدر السادس، وكل قدر يزيد فى اللمعان عن القدر الذى يليه بحوالى المرتين والنصف. فالنجم من القدر الثالث يزيد فى لمعانه مرتين ونصف مرة عن النجـم مـن القدر الرابع وهكذا. ولقياس النجوم الأشد لمعانا تستعمل أرقام أقل من الواحد الصحيح، فألمع نجم فى السماء بعد الشمس (الشعرى اليمانية) قدره (– ٥٨و ١) أما الشمس فهى من القدر (– ٧٢و٢٦). (المترجم)

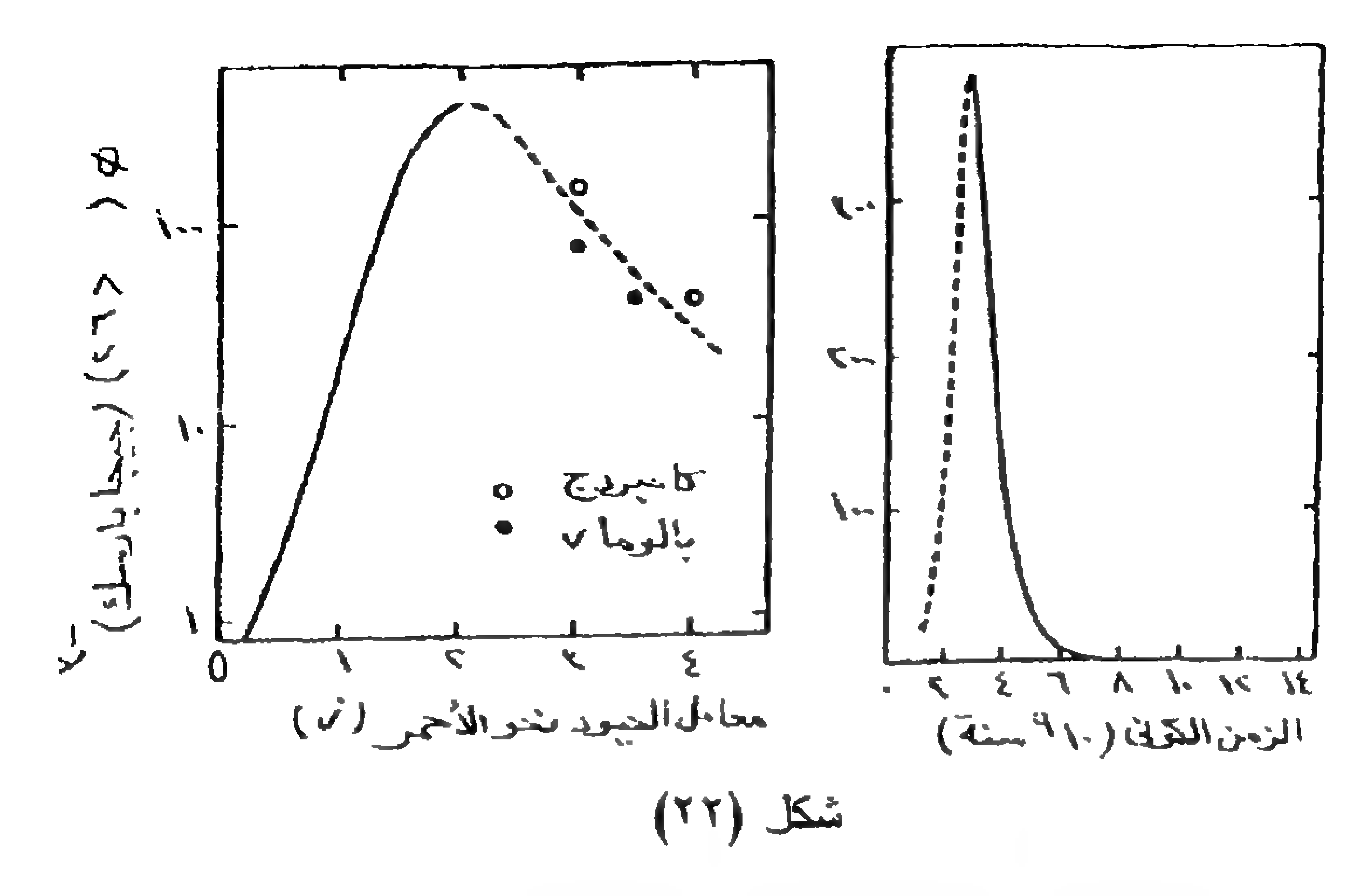
بالنسبة للبشرية، أن تكون أصلح الأوقات للأرصاد الفلكية، هى تلك الحقب الباكرة التى لم تكن الأرض قد تشكلت فيها بعد) – ولعلنا – بطبيعة الحال توقعنا أن الكوازارات كانت أدنى فى تلك الأزمنة السحيقة بمعامل مقداره (١+ز)، لأن الكون كان –ككل– أكثر كثافة. على أن التأثير الحقيقى يفوق ما يتم التوصل إليه عن هذا السبيل: فعند القيمة ز=٢ كان انتشار الكوازارات بالنسبة للمجرات أكثر بألف مرة من انتشارها الآن [٧٣، ٧٤، ١٧٤].

ويبدو أن نشاط أشباه النجوم قد بلغ ذروته فى الحقبة التى وصل فيها الكون إلى ثلث حجمه الحالى. وقد استمرت صعوبة اكتشاف أشباه نجوم ذات قيمة أكبر من الانزياح صوب الأحمر حتى ١٩٨٧، حين لم تكن هناك سوى أربعة كوازارات ذات انزياح للطيف صوب الأحمر. أما الآن فلدينا أكثر من ١٠٠ شبه نجم من هذه الفئة. وقد احتفظ الكوازار PC1247+3406 بالرقم القياسى للمقدار (ز) وهو ٤,٨٩ (شكل رقم ٣) للفترة من ١٩٩١ وحتى ١٩٩٩. والعقبة فى التوصل إلى قيم أعلى للانزياح صوب الأحمر تكمن – بصورة جزئية – فى بعد المسافات التى يقل لديها تجمهر أشباه النجوم بصورة كبيرة [٧٤] (انظر شكل ٢١). فيبدو أن كثافة الحركة المشتركة تنخفض إذا زادت قيمة ز عن ٣,٥، رغم أن معدل انحدار هذا الاتجاه نحو النقصان ما زال مثار جدل (شكل ٢٢).



شكل (٢١)

دالة قوة لمعان الكوازارات فى النطاقات المختلفة من معامل الانزياح شطر الأحمر ويظهر فيها كثافة الحركة المناظرة للأجرام اللامعة لدى قيم المعامل ما بين ٢، ٢,٥، أعلى من قيمتها فى الحقبة الحالية (منقولة من بويل ب.ج وآخرين- ١٩٩٠، شهرية الجمعية الفلكية الملكية رقم ٢٤٣- ١).



شكل (٢٢)

المنحنى إلى اليسار يبين الكثافة المناظرة للكوازارات القوية باعتبارها دالة فى الحيود نحو الأحمر (ز) (لدى قيم ز الأعلى من ٣، هناك انحدار، ولكن التفصيلات الكمية غير مؤكدة. والدوائر المظللة والدوائر الفارغة تتناظران النتائج من مسحين مختلفين). ونفس الكثافات المناظرة طبقا لمرجع شميدت المذكور فيما يلى، أعيد توقيعها فى الرسم الأيمن على مقياس خطى، حيث يمثل المحور الأفقى الزمن الكونى (باعتبار نموذج آينشتاين – دى سيتر الكونى وحيث هـ.=١). وتظهر العلاقة – بصورة درامية القصر النسبى لحقبة الكوازارات، عندما كان الكون يبلغ من العمر ٢ أو ثلاثة بلايين عام. •نقلا من م. شميدت ١٩٨٩: إطلالات على علم الفلك – ٨ ص ٣١).

وفى نماذج آينشتاين –دى سيتر الكونية، يرتبط الزمن ن بالانزياح صوب الأحمر(ز) بالعلاقة: ن (ز) = ١٣،١ ×١٠^٩ هـ. (١+ز) سنة(٢).

لقد تكونت أشباه النجوم ذات أعلى قيمة تعريف لمعامل ز – وطبقا للمعادلة رقم (٢)– عندما كان الكون آخذا فى التمدد على . ١٠ من السنوات، وكان عمره يبلغ ٧% فقط من عمره الحالى . . . وأن بعض المجرات

كانت قد تكونت وتطورت سلفا حتى تلك المرحلة التى يتفجر فى نواها ذلك النشاط الخارج عن نطاق السيطرة. ويمثل ظهور أشباه النجوم المبكر فى تاريخ الكون أحد المحددات الهامة عند وضع سيناريوهات تشكل المجرات. وبصفة خاصة فإن هذا الظهور يشكل مأزقا للسيناريوهات التى لا تتنبأ بأن النشاط قد بدأ مبكرا على هذا النحو (على سبيل المثال نموذج الأعلى- الأسفل(*) الذى يهيمن عليه النيوترينو).

٤-١-٢ التقديرات النظرية للانزياح صوب الأحمر فى تشكل المجرات:

فى سبعينيات القرن العشرين ذاع على نطاق واسع الاعتقاد بأن تَكَوُّن المجرات قد حصل فى حقب أكثر تبكيرا مما تشير إليه الأرصاد المباشرة، ومنذ ذلك الحين لم يقتصر الأمر على اكتشاف كوازارات (بل وحتى مجرات) ذات انزياح أعلى صوب الأحمر، لكن تقديرات النظريين للانزياح الأحمر لتكون المجرات قد تقلصت أرقامها، وذلك لأن المجرات (ومعها هالاتها المعتمة) تمتد وتنتشر واقعيا أكثر مما كان يظن فى السابق. والأفكار الراهنة عن امتداد الهالات وعن الأصل فى دوران المجرات تقترح - بصرف النظر عن نموذج نشأة الكون- أن المجرات- أيا كان وقت نشأتها مبكرا- ما زالت مستمرة فى الحقب التى يمكننا فيها رصدها رصدا مباشرا (وبالتأكيد لدى إزاحات نحو الأحمر بقيمة ز تقل عن ٥).

فى الحقبة المناظرة للقيمة ز=٥، يكون المقياس الزمنى للتمدد الكونى (المعادلة رقم٢) طويلا بمقارنته بالمقياس الزمنى الديناميكى داخل نطاق الجزء "المضىء" من المجرة ذات الهيئة النمطية، لكنه ليس طويلا إذا ما قورن بالمقياس الزمنى للهالات المتمددة. ففى مجرة كمجرتنا يصل المقياس الزمنى للسقوط الحر المناظر لقطر ١٠٠ كيلوبارسك، إلى ١٠ ⁹ سنة. وعلى ذلك يمكن ألا يكون الجزء

(*) نموذج من أسفل إلى أعلى Bottom- up scenario: هو سيناريو يتصور تدرج تَكَوُّن المجرات تولد فيه المجرات الصغرى أولا ثم تتلاحم مع بعضها مكونة مجرات أكبر، وهكذا. ونموذج الأعلى- الأسفل يفترض عكس ذلك. (المترجم)

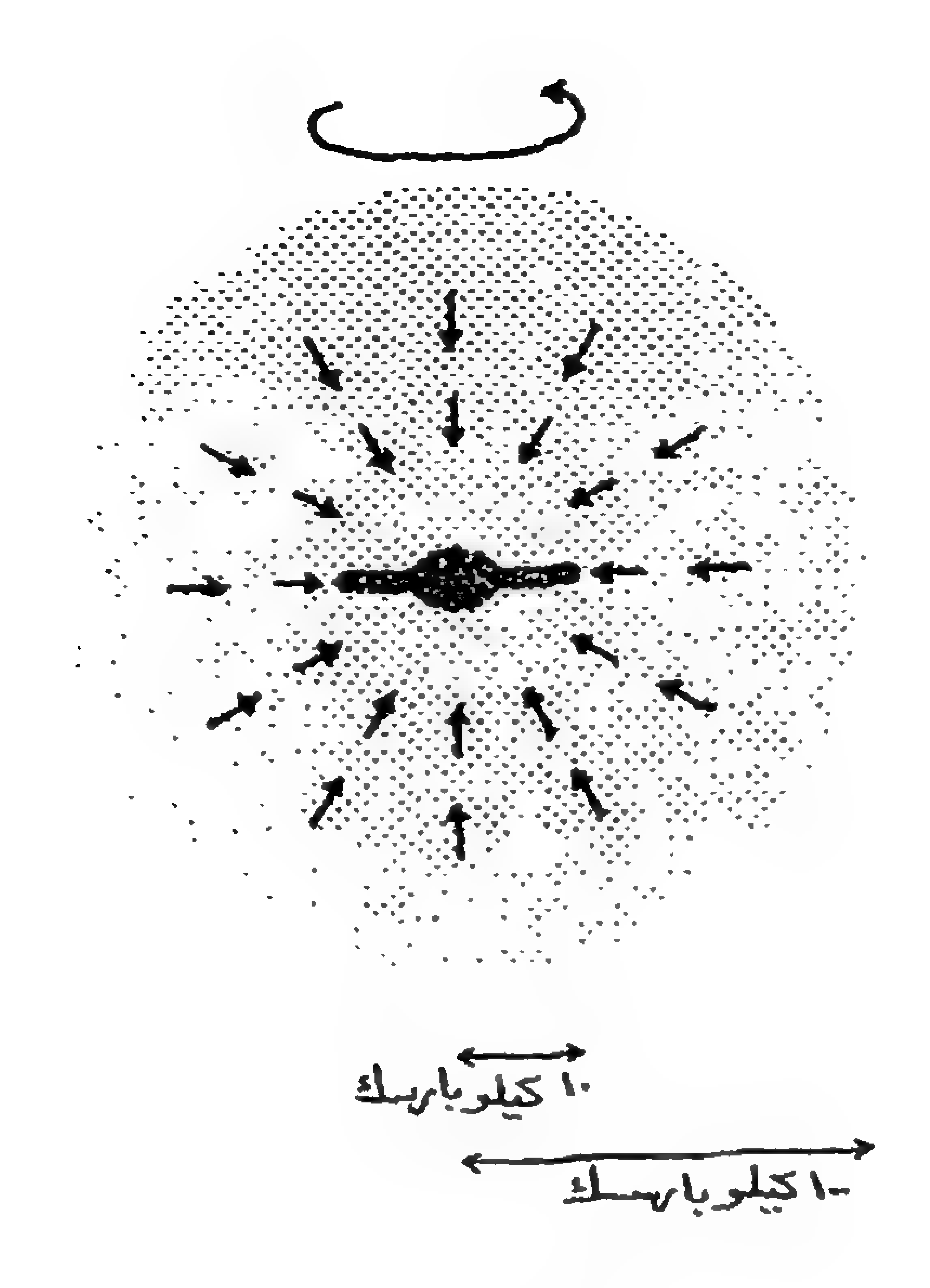
الخارجى من الهالة المجرية قد انهار وقوّم إلى أن بلغ عمر الكون ٢ بليون سنة، وبعبارة أخرى ليس قبل الحقبة المناظرة للقيمة ز=٢، بكثير. (فى الواقع يطرح العلماء نماذج أخرى أكثر واقعية تتبنى فيها الهالات فى تسلسل هرمى من اضطرابات غير كروية هائلة، أن النشوء قد يكون أحدث زمنا).

وتطرح وجهة نظر أخرى أنه ليس فقط الهالة الخارجية، وإنما حتى الأقراص المكونة للمجرات مثل مجرتنا (بأنصاف أقطار تبلغ نحو ١٠ كيلوبارسك) هى فى الواقع حيازات حديثة نسبيا. وتعتمد وجهة النظر هذه [٧٥]، على الأخذ فى الاعتبار المصدر الذى جاء منه هذا العزم الزاوى للمجرات. فلا يمكن للعزم الزاوى أن "يخزّن" بدرجة عالية من الكفاءة فى المراحل المبكرة من نشأة الكون الكثيف آنذاك. ولا بد وأن المجرات الأولى اكتسبت دورانها حول نفسها بتأثير المدى المتبادل بينها وبين جيرانها. وتعتمد هذه العملية على الاضطرابات الابتدائية التى كانت – بدرجة كبيرة – غير كروية (وهو المتوقع إذا كانت جزءًا من طيف عريض لتذبذبات جاوسية Gaussian Fluctuations، بحيث إن المجرات الأولى كان لها – باعتبارها نمطًا سائدًا – عزوم هائلة تقدر بأربعة أضعاف. ويصل عزم الازدواج المدى بين المجرات الأولى إلى أعلى درجات كفاءته عندما تهم تلك المجرات بالدوران. وفى الأزمنة المبكرة كان إسهامها فى الكثافة المتوسطة مجرد كسور ضئيلة. ولكن فى مراحل تالية، عندما يكون عدم التجانس على النقيض من ذلك عالى القيمة فإن انفصالاتها تكون أكبر بكثير من أحجامها المميزة لها، ومن ثم يضعف التأثير المدى لدى مقارنته بالتجاذب الرئيسى الذى يتناسب عكسيا مع مربع المسافة. وغالبا ما يستعمل معامل غيـــر ذى أبعاد للتعبير عن العـــزم الزاوى هو $م_{عر} = ج^{-١} . ع_{ز} . ط_{ج}^{١/٢} . ك^{-٥/٢}$، حيث $ع_{ر}$ هو العزم الزاوى، $ط_{ج}$ الطاقة الجذبوية الرابطة. فلمجرة أولية يساوى $م_{عر}$ بالتقريب النسبة ما بين سرعة الدوران الخطية والسرعة المقومة عند لحظة الدوران وتشير التقديرات سواء التحليلية أو العددية إلى أن عزوم الازدواج المدى كانت ستعطى قيما نموذجية

للمعامل م ع ر بالنسبة للمجرات الأولى – فى حدود ٠,٠٣ إلى ٠,٠٦ وبالتبعية فلا يمكن أن تحقق المجرة الأولى دعما دورانيا إلا إذا تقلصت – بتشتت – بمعامل كبير (انظر شكل ٢٣).

ولكي يتكون قرص مدعوم دورانيا حيزه ١٠ كيلوبارسك، يتعين أن تكتسب الباريونات عزمها الزاوى عند ١٠٠ كيلوبارسك (ويفترض هذا وجود هالة ثقيلة تمتد لمسافة حوالى ١٠٠ كيلوبارسك، وكذلك يفترض أن مادة الباريونات لا تنقل أيا من عزمها الزاوى إلى الهالة خلال التقلص – وقد تقتضى النماذج الأكثر واقعية ذراعا أطول مما يعنى تَكَوُنا أبطأ وأحدث للأقراص المجرية).

ومن ثم فهناك وجه نظر نظرية مقنعة بأن تجمع المجرات الكبيرة (وحتى رغم أنها – في بعض سيناريوهات نموذج الأسفل إلى أعلي – قد تكون بدأت مبكرا جدا) ما كان له أن يتم قبل الحقبة ز=٢ إلى ٢,٥) عندما وصل الاكتظاظ بالكوازارات لقمته. وفى الواقع يرجح أن المجرات ذات قيمة ز ~ ٣فى "مجال هابل العميق" من بين أكبر المجرات التى تكونت وأبكرها نشوءا، ومن هنا فإن تكون الكوازارات مرتبط أوثق ارتباط بعملية التكدس التى تكونت بفضلها المجرات نفسها، ومن ثم فإن الكوازارات ذات الانزياح الكبير صوب الأحمر تصلح وسائل استشعار للحقبة المهمة التى تمثل نشأة الكون، حيث كانت الملابسات جد مختلفة عن الحاضر.



شكل (٢٣)

لا تسهم عزوم الدوران المدية – نمطيا – إلا بأقل من ١٠% من سرعة الدوران اللازمة لدعم الطرد المركزى. والمادة الكونية التى تنتهى إلى قرص نصف قطره ١٠ كيلوبارسك ينبغى أن تكون قد تقلصت من نصف قطر أكثر من أو يساوى ١٠٠ كيلوبارسك فى البداية. وعلى المقياس الزمنى يستغرق هذا التقلص نحو ١٠ ^{٩} سنة. ومن ثم فإن تكوُّن الأقراص المجرية فى مجرة كمجرة الطريق اللبنى أو أندروميدا لا يمكن أن يكون قد تم قبل الحقبة التى تناظر انزياحا للأحمر مقداره ٢ أو ٣.

وفى سبيلى لعرض بعض الأفكار الراهنة، سأبدأ بالاستدلالات المستنبطة مباشرة من الأرصاد، لأخلص إلى ملخص موجز (وأكثر تأملية وحدسا) عن كيفية الربط ما بين الكوازارات ونشوء المجرات الذى سبق مناقشته فى الفصول السابقة.

٤- ٢ كم كان هناك من الكوازارات؟

إن أشباه النجوم هى (وحوش) كونية نادرة الوجود نسبيا، وفى الحقبة الزمنية الراهنة ليس هناك سوى واحد منها مقابل كل مائة ألف مجرة، وحتى خلال (حقبة الكوازارات) عند قيمة انزياح نحو الأحمر من ٢ إلى ٢,٥ كانت الكوازارات أقل شيوعا – بمئات المرات – من المجرات العادية [٧٣، ٧٦]. وبمقدور المرء أن يحدس من الوهلة الأولى نتيجة لذلك أن مجرة واحدة من كل مائة انخرطت فى نشاط كوازارى لأشباه النجوم، وألا يتوقع أن يعثر على بقايا منها فى أكثر من ١% من المجرات الآن. إلا أن هناك احتمالا بديلا. وشكل (٢٢) يصور تطور تعدادها ما بين الصعود والهبوط. والمنحنى لا يمثل بالضرورة دورة حياة نمطية لشىء ما. فتماما كما فى تعدادات الكائنات الحية يجوز أن يولد العديد من الأجيال قصيرة العمر وتتطور، وتموت عبر الفترة الزمنية التى يرتفع فيها التعداد الإجمالى ويهبط. فإذا كان هناك أجيال عديدة من الكوازارات يبقى كل منها أقل من $١٠^{٩}$ سنة، فإننا نتوقع أن توجد منها بقايا أكثر، وحيث إن كتلة كل منها مرتبطة بإجمالى الطاقة المبذولة على مدى عمر الكوازار، فلا يلزم بالضرورة أن تكون هذه الكتلة هائلة الضخامة.

إن ضوء الخلفية المجمع من الكوازارات والذى تم تقديره بناءً على مسوحات أجريت للكوازارات يصل إلى كثافة طاقة = ٣٠٠٠ ك $_{ش}$. س^{٢} تقريبا لكل ميجابارسك مكعب. وهذا المقدار محكوم بالأجرام ذات قيم انزياح صوب الأحمر (ز) قدرها حوالى ٢ بدالة لمعان كما فى شكل ٢١. إن كثافة توزع

المجرات فـــي الفضـــاء فـــي الوقت الراهن معروفة لنا، ومن ثم فبوسعنا أن نقدر – لكل مجرة – مقدار متوسط الطاقة المصاحبة لنشاط الكوازار. وتبلغ الكتلة المكافئة لهذا القدر من الطاقة زهاء $١٠^{٧}$ هـــ.م $^{-٢}$ ك ش لكل مجرة ذات لمعان (٧٧).

يظل الكثير من ملامح الكوازارات مبهما غامضا. وتبدو لنوى المجرات النشطة ظواهر عديدة على المقاييس المختلفة وعند النطاقات المختلفة من الأطوال الموجية، ويصعب وضعها جميعا في فئة أو طائفة واحدة. ولم يبق مجال للشك فيما تعنيه كلمة (كوازار ميت)، ويبدو ألا مجال لتحاشي الخلاصة أن كسرا ملموسا من المادة التي يشملها ستنهار في خاتمة المطاف إلى ثقب أسود هائل. فإذا كنا متفائلين وحددنا ١٠% كنسبة للكفاءة الإجمالية لعملية تحول الطاقة في أشباه النجوم فعلينا أن نستنتج أن بقاياها من الثقوب السوداء تصل في المتوسط إلي $١٠^{٨}$ هـــ.م $^{-٢}$ ك ش لكل مجرة لامعة.

ولكن هل تشارك جميع المجرات في مقدار هذه المادة (ويستدعى ذلك أنه كان هناك أجيال عديدة من الكوازارات ذات الأجل القصير)؟، أو هل تنشأ الكوازارات وتستديم حياتها لأكثر من ألف مليون سنة في نسبة ضئيلة من المجرات المحظوظة؟ لا يبدو من المرجح أن أغلب الكوازارات البراقة يمكنها أن يمتد بها الأجل لفترة ألف مليون سنة، فالكتلة الناجمة حينئذٍ ستصل إلى $١٠^{١١}$ ك ش، ما لم يكن نطاق إشعاعها قد اقتصر علينا وانحصر في التوجه إلينا. مهما يكن الأمر، فالموقف أقل وضوحا فيما يختص بالأجرام ذات القوى الإشعاعية الأقل، فنحن لا ندري ما إذا كانت الكوازارات تتبع – منفردة – مسارا قياسيا في رحلة تطورها ما بين أطوار براقة وخافتة. وهذا القصور في معلوماتنا وعدم وجود دليل مباشر على دورة حياة كل كوازار على حدة، أو دورة أدائه النشط(*) لأنواع

(*) دورة الأداء duty cycle: هـــي الجزء من الزمن منسوبا إلى الزمن الكلي الذي ينشط فيه الكوازار أو الجرم النابض ويبعث بإشعاعاته، وتصل قيمته نمطيا إلى ٥% من الزمن الكلي. (المترجم)

الأنشطة المختلفة فى نوى المجرات، يمثل عقبة كأداء نتعثر فيها خلال محاولاتنا لاستيعاب التطور الذى يصوره شكل (٢٢).

٤ـ ٣ كتل الكوازارات ومدى كفاءة عملياتها:

تتعدد -من ناحية الأساس- الأساليب المستعملة فى تحديد كتل الكوازارات. ويغلب على الأطياف الضوئية خطوط الانبعاث من سحب الغاز سريعة الحركة التى يدفئها الإشعاع المستمر المنبعث من الأجرام الموجودة بالمركز. وبمقدورنا تقدير المسافة ما بين السحب والمركز من خلال حالة التأيُّن التى عليها الغاز (وتبلغ قيمتها النمطية بضعة أسابيع ضوئية)، وتقدير سرعاتها من عرض خط الانبعاث (وتبلغ هذه السرعات عدة آلاف من الكيلومترات فى الثانية). وإذا كان لهذه السحب تحركات بتأثير الجاذبية، أى إذا كانت - على سبيل المثال - فى حالة سقوط حر، أو فى مدار، فيمكن للمرء أن يستدل على كتلة المركز، وإذا كان الغاز ينساب إلى الخارج فى صورة رياح، فإن هذا الاستدلال يفضى إلى الحد الأعلى فقط من التقديرات.

وتعتمد المسألة الثانية ببساطة على ملاحظة أنه، إذا كان مصدر الطاقة فى الكوازارات هو تكدسها وتضامها، فإن الضغط الإشعاعى نحو الخارج لن يكون بمقدوره أن يهيمن على الجاذبية. ويتطلب هذا- وبعيدا عن التصحيح الضوئى اللازم beaming correction- حدا ادنى من الكتلة. واذا كان تشتت الإلكترونات هو ما ينتج العتامة الرئيسة، فهذا الحد يبلغ ٧×١٠^{٦} (ل/١٠^{٤٦} ارج/ ثانية) ك ش. وقد خطا زيلدوفيتش ونوفيكوف بهذه القضية فى عام ١٩٦٤ عدة خطوات، ولا يوجد سبب حقيقى يدعو إلى تغيير الاستخلاصات التى توصل إليها عملهما الريادى. فالكتلة اللازمة هى على الأقل ١٠^{٨} ك ش للكوازار النمطى، ١٠^{٩} ك ش لأعظم الكوازارات قدرة.

ويقارن الجدول رقم (١) ما بين فرضيتين: الفرضية الأولى (أ) كان هناك – فعليا جيل واحد ذو فاعلية من الكوازارات هائلة الكثافة طويلة العمر، وذلك مقابل فرضية ثانية (ب) بأنه كان هناك خمسون جيلا من الكوازارات، بحيث لم تحتج كتلة كل منها على حدة (فى ظل قيمة معينة من الكفاءة) إلى أن تتزايد إلى هذه القيم العالية، ولا بد أن بقايا الكوازار كانت هائلة. وفى الواقع فإن ن. لن تكون قيمة مفردة ولكن كان هناك امتداد للأعمار لعل له ارتباطا بمقدار اللمعان ل.

جدول مقارنة رقم (١)

مقارنة بين الافتراضية بشأن الكوازارات

الحالة (أ)	الحالة (ب)
ن. ≈ ن التطور	ن ≈ ٤ × $١٠^{٧}$ سنة ≈ ٠,٠٢ ن التطور
ك = ٢,٥ × $١٠^{٩}$ $ل_{٤٦}$ $\in^{-١}_{٠,١}$ $ك_{ش}$	ك = ٥ × $١٠^{٧}$ $ل_{٤٦}$ $\in^{-١}_{٠,١}$ $ك_{ش}$
ل >> $ل_{إد}$ $\in_{٠,١}$	ل ≈ $ل_{إد}$ $\in_{٠,١}$
نطاقات ذات خط عريض محكومة بالجانبية	نطاق ذو خط عريض غير محكوم بالجاذبية
بقايا هائلة الكتلة فى نحو ٢ % من المجرات	بقايا فى معظم المجرات البراقة كتلتها نحو $١٠^{٨}$ $ك_{ش}$

هناك مقياس زمنى مميز، يمكن استخلاص قيمته من الثوابت الأساسية، وهو الزمن الذى يستغرقه تحويل إجمالى كتلة الجرم الساكنة إلى إشعاع، لو كان يشع بلمعان إيدنجتون(*) Eddington luminosity ، وهذا المقياس الزمنى (الذى كان ساليبتر [٧٩] أول من صاغ معادلته هو $ن_{س}$ = $\sigma_{ت}$. س÷ ٤ ط ج $ك_{بروتون}$ = ٤× $١٠^{٨}$ سنة (٣).

(*) لمعان إيدنجتون أو حد إيدنجتون: النقطة التى يتساوى فيها بالنجم قوى الجاذبية للداخل مع قوى الإشعاع للخارج فيحدث اتزان هيدروستاتيكى. وفوق هذا الحد لا يكون النجم مستقرا. (المترجم)

والدراسات الفيزيائية الفلكية عن تضام الأجرام تشير إلى أن الكفاءة ∈ التى تتحول بها الكتلة الساكنة حال تقوضها إلى إشعاع لا يرجح أن تتعدى ٠,١، وسيكون زمن المضاعفة doubling time(*) المميز لإجمالى كتلة الهالة ∈. ن س. ولهذا السبب الجوهرى، يحبذ كثير من العلماء النظريين رقم ٥٠ مليون سنة تقريبا (٠,١ ن س) كرهان مفضل على العمر النمطى للكوازار.

لا يمكن لهذه المناقشات أن تميز ما بين طور نشط مفرد، وانفجارات متكررة متعاقبة قصيرة الأمد يصل مجموع فتراتها إلى نفس العدد من السنوات (لو كانت الكوازارات قد عاشت لمدد أقصر بكثير من ٥٠ مليون سنة، فإن معنى ذلك أن عملية تحويل الكتلة إلى طاقة لم تكن ذات كفاءة ما لم تكن الكتلة ضئيلة إلى الحد الذى لا تكفى فيه قوى الجاذبية لمنافسة الضغط الناجم عن الإشعاع).

والأرقام فى العمود الأيسر من جدول (١) تشير إلى عدد من الثقوب السوداء ربما يقدر عدد المجرات الضخمة علاوة على ذلك، وبأخذ الكوازارات ذات الطاقة الضخمة فقط فى الاعتبار، ربما تواضعت تقديراتنا لكتل الثقوب السوداء فى المجرات ولعددها. فرقم ١٠% المفترض لكفاءة التحول ربما كان مفرطا فى التفاؤل، لأن نوى المجرات النشطة المتوسطة والثقوب السوداء يجوز أن تكون قد تكونت -أساسا- بسبل أخرى أو حتى تكون منتمية لعصور (أقدم). ومما يجدر بنا حقا استكشاف أفضل الوسائل لاستشعارها.

(*) يقصد به الفترة الزمنية اللازمة لمقدار ما، كى يتضاعف حجما أو عددا. (المترجم)

٤ – ٤ الكوازارات الميتة: ثقوب سوداء هائلة فى المجرات المجاورة

٤- ٤- ١ النتوءات النجمية المستدقة:

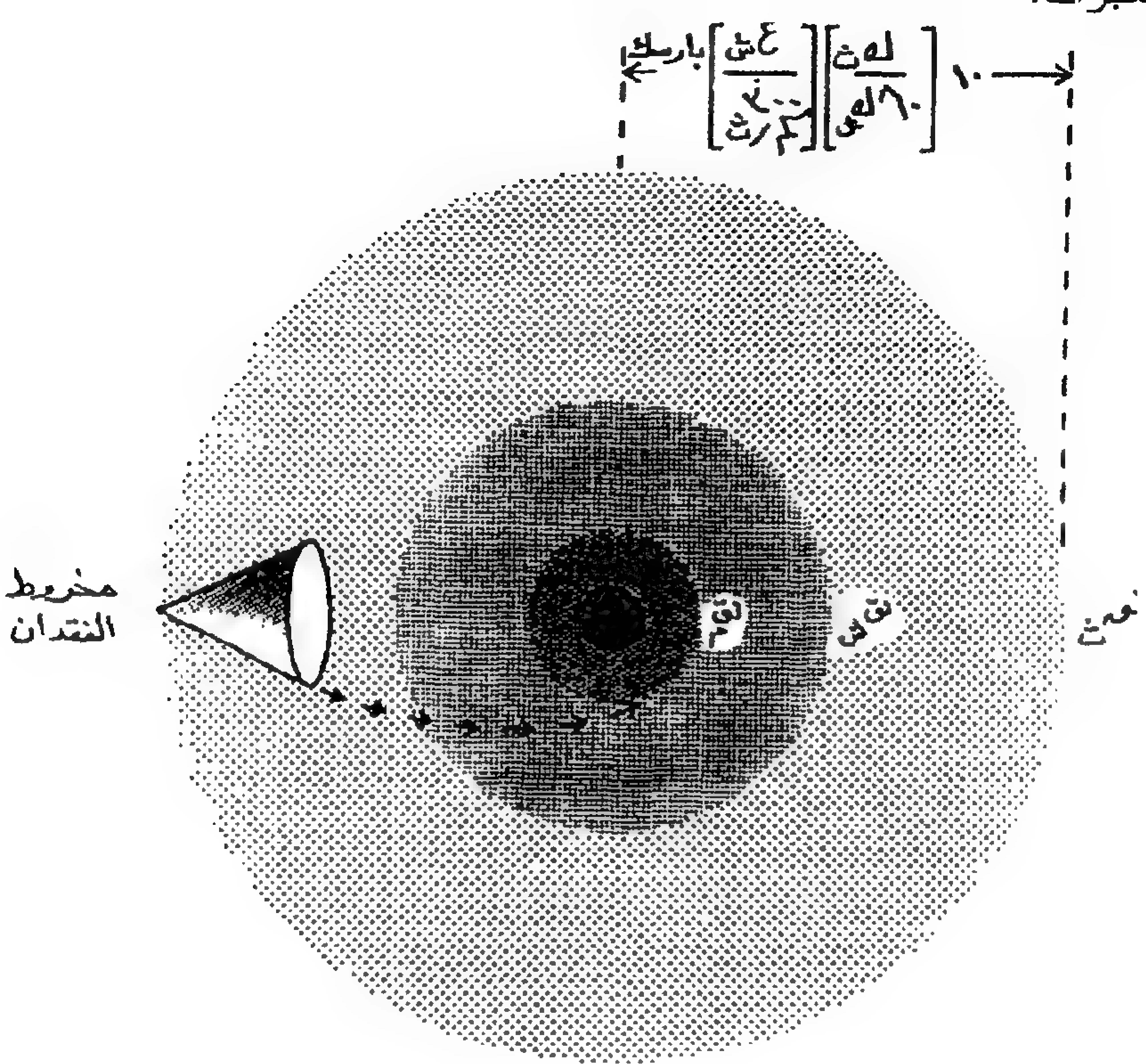
إن أغلب المجرات التى نشطت لحقب طوال، كانت ناشطة كذلك فى الماضى السحيق، لذا فإن الكوازارات الميتة – تلك الثقوب السوداء الهائلة التى نفد وقودها، ومن ثم خمدت وأخلدت للهدوء – لا تصدقنا القول. إن الثقب الأسود الضخم يتبدّى لنا كشبه نجم فقط ما دام ظل أتونه متقدا بما يقتنصه من جيرانه من غاز. إلا أن بقيات كتلته تظل – حتى بعد موته – تمارس تأثيرا جذبويا. وتميل النجوم إلى الانجذاب ناحيته. ومن ثم يتوزع ضوء النجم فيما حوله فى هيئة طرف مستدق أو نتوء كالشوكة، بسبب النجوم المارقة بالقرب منه.

تتحدد دائرة تأثير الثقب بالمدى الذى يقترب به منه نجم ما قبل أن يتأثر مدار هذا النجم بجاذبية الثقب، أكثر من تأثره بإجمالى المجالات الجذبوية لكافة النجوم (والمواد المعتمة الأخرى) فى المجرة. إن كرة التأثير (ونصف قطرها نق ث) هـى الحيـز الـذى فى نطاقه تتجاوز سرعة الإفلات(*) من جاذبية الثقب ذاته (أو بعبارة مكافئة السرعة المدارية للنجوم المرتبطة جذبويا به)، تشتت السرعة النمطى(**) typical velocity dispersion ع ش عبر المجرة كلها. ويتناسب نصف القطر نق ث مع كتلة الثقب ك ث طرديا ويتناسب عكسيا مع ع٢ ش. إنه أكبر بملايين المرات من (حجم) الثقب نفسه:

(*) سرعة الإفلات من جرم فضائى ما هى السرعة اللازمة لجسم على سطح الجرم، كى ينطلق بها مفلتا من نطاق جاذبيته وتتحدد هذه السرعة بكتلة الجرم ونصف قطره، ويصل مقدارها بالنسبة للكرة الأرضية نحو ١١,٢ كم / ث. (المترجم)

(**) مقياس تشتت السرعة velocity dispersion: هو محصلة جمع أطياف نجوم منفردة تتحرك جميعها فى المجرة.

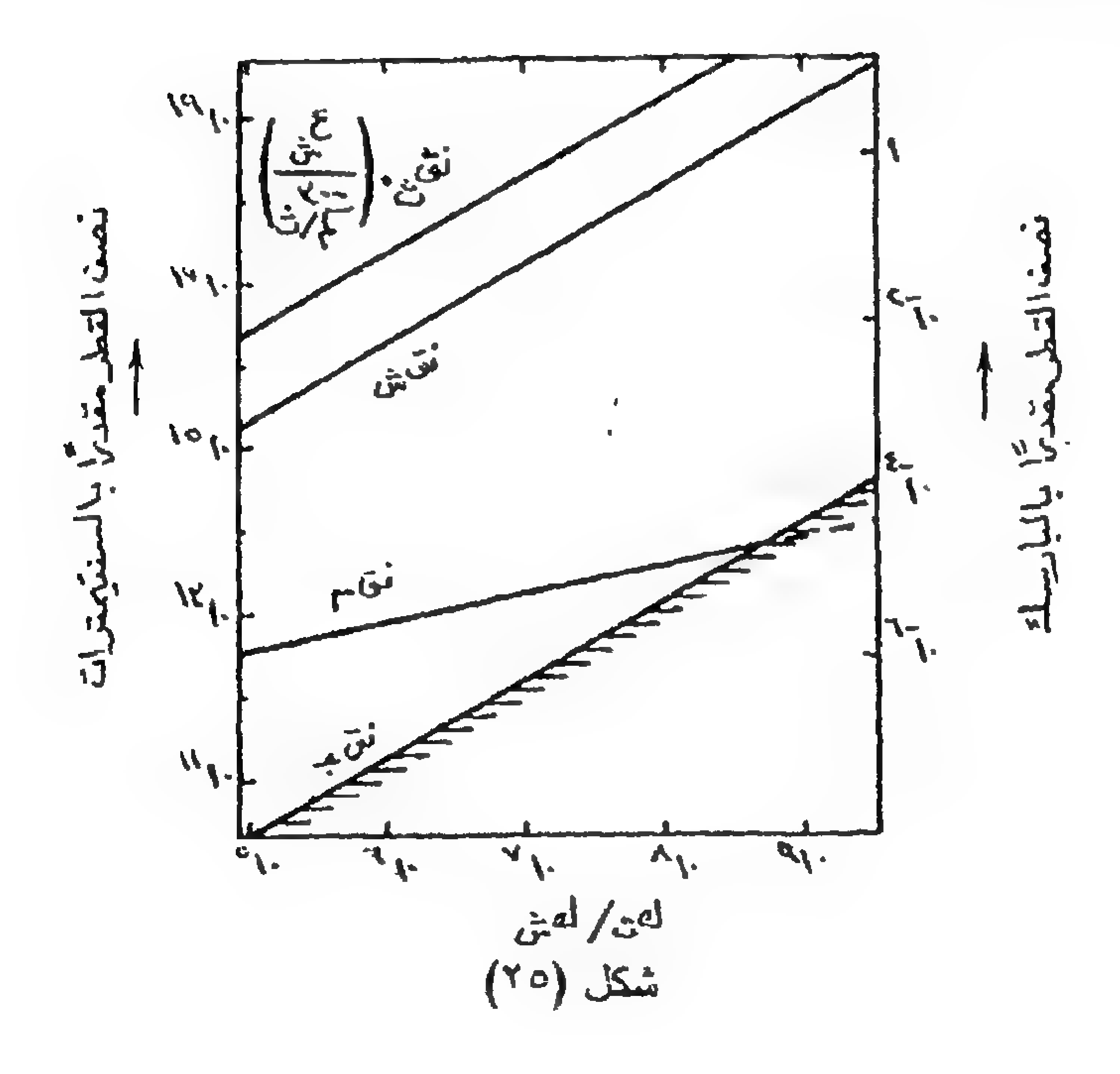
(نق ج = ج ك ث ÷ س²) (انظر شكلى ٢٤، ٢٥) ولكن كبره يكفى فقط لكى يحصر زاوية لا يزيد مقدارها عن بضع ثوان قوسية حتى فى حالة أقرب المجرات.



(شكل (٢٤)

يصور هذا الشكل (دون مقياس رسم مضبوط) أنصاف الأقطار المميزة حول ثقب أسود كثيف كتلته ك ث فى منظومة نجمية. إذا كان مقياس تشتت السرعة فى قلب المجرة = ع ش، فسيؤثر الثقب فى حركة النجوم فى نطاق نصف قطره نق ت يساوى تقريبا (ج ك ـ) ع² ش. وداخل نطاق نصف القطر نق ش ستتحرك النجوم

بسرعة هائلة بحيث يرجح أن تحدث لها اصطدامات فيزيائية ببعضها (مشوشة بصفة عامة)، أكثر من احتمال تقابل جرمين تقابلاً من النوع الذى يمكن معاملته بتقريبات النقطة point- mass approximations. نق ش هو نصف القطر الذى يمكن عنده مقارنة سرعة الإفلات من الثقب بسرعة الإفلات عموما $\cong$ $\left(\frac{2ك.ج^*}{نق}\right)^{1/2}$ من على سطح النجم. تحدث تشوشات مدّية فقط فى نطاق أصغر كثيرا من نصف القطر نق م $\approx \left(\frac{ك}{ك} ث\right)^{1/3}$ نق* لحدوث تشوشات ينبغى أن يعبر النجم الكرة عند نصف قطر يساوى تقريبا نق ت فى مدار نصف قطر مخروط الفقدان(**) تقريبا.



شكل (٢٥)

(*) يقصد بها إمكان اعتبار الكتلة مركزة بإجماليها بالمركز.

(**) مخروط الفقدان: هو مخروط تخيلى فى الفضاء يرسم سرعة الجسيمات فى البلازما.

أنصاف الأقطار المختلفة التى يصورها شكل (٢٤) تم توقيعها هنا على مقياس لوغاريتمى باعتباره دالة فى كتلة الثقب ك ث. ويصل نصف القطر الجذبوى للثقب نـق ج إلـى ١,٥×١٠ ^١٣ (ك ث/ ١٠ ^٨ ك ش) سنتيمتر. وقـد وقع نصفا القطر نق ش، نق م ≈ نق ج لنجوم من نوع الشمس (لكنها لا تنتمى بطبيعة الحال لفئة العمالقة) دون تشويشها بادئ ذى بدء. عند قيمة نق م = نق ج تنحصر تأثيرات التشوّش المدّى على نطاق نظرية النسبية العامة، حيث لا تقوى تأثيرات الثقب المدّية على التعدّل بصورة كافية طبقا لتقريب نيوتونى نق ^-٣.

ومن هنا كان لا بد من مؤشرين ينبئان عن وجود الثقب الأسود الخامد: الأول هو وجود نقطة مركزية من الضوء في خريطة توزيعه ناجمة عن التركيز الإضافى للنجوم داخل نطاق كرة تأثير الثقب. (طالما جرى البحث عن هذه النقطة المركزية، لكن كان هناك دوما غموض، فربما كان هناك مصدر إضافى خارجى لضوء غير صادر من نجم عند المركز) والمؤشر الثانى – الأقل إبهاما – هو دليل مستمد من شكل الطيف، وهو أن النجوم الأقرب للمركز كانت تتحرك بسرعة شاذة غير مألوفة.

إن التأثير الجذبوى فى مركز الثقب الأسود يكون محسوسا عند المسافات حتى أدنى المجرات، فقط فى نطاق بضع ثوان قوسية – على المقياس الزاوى – من نواة المجرة (تناظر نقث فى شكل ٢٤). إن المجرة M87 فى عنقود العذراء كانت أول مجرة قيل بوجود نتوءات مستدقة للنجوم فى نواتها [٨٠]. ولكن ديناميكيات النجوم فى باطن هذه المجرة الإهليلجية العملاقة تظل محاطة بالغموض، وهى مجرة مترابطة كتلة مركزها تبلغ من ١ إلى ٢ × ١٠ ^٩ ك ش؛ بيد أن العلاقة الجذرية بين الكثافات والسرعات المتوقعة يمكن أن تعود إلى القلب النجمى الكثيف وحده، بشرط أن تكون السرعات – بما يلائم – متجانسة فى جميع الاتجاهات [٨٠أ] وهناك دليل مستقل على وجود كتلة معتمة بالمركز يأتى –على كل حال– من قرص غازى يدور حول الغاز المندفع فى مستوى عمودى عليه.

لقد عثر علماء الفلك الضوئى الآن على الدليل على وجود كتلة معتمة فى مراكز العديد من المجرات القريبة. وبخلاف المجرة م ٨٧، لا تبدو هذه المجرات فى حالة نشاط حاليا ولا حتى على مستويات منخفضة من النشاط ولأنها أدنى بمقدار ١٠ مرات فقد تكشف تركزات الكتلة فى المركز عن أنفسها حتى وإن لم تتجاوز كتلتها ١٠ ^٦ إلى ١٠ ^٧ ك ش. وأكثر الحالات طرافة توجد فى أقرب جارة كبيرة لنا فى الفضاء: مجرة أندروميدا (م٣١). وفى ستينيات القرن العشرين، طير شفار ترفيلد ورفاقه فى برينستون مرقابا صغيرا (سترا توسكوب) فى بالون على ارتفاع عال، لتجنب تأثيرات التشوش الحادثة فى طبقات الغلاف الجوى السفلية. واكتشفوا أن النجوم فى باطن المجرة (م٣١) وعلى مقربة عدة سنوات ضوئية من المركز، تتوزع فى هيئة مسطح مستو. وفى خلال السنوات الأخيرة القليلة، كشف بحث الأطياف أن سرعات النجوم تزداد نحو المركز [٨٢] ويبدو أيضا أن نظام التوزيع النجمى المسطح هذا يدور حول كتلة تتركز عند المركز مقدارها ٣ × ١٠ ^٧ ك ش.

وليست م ٣١ بالمجرة الوحيدة القريبة التى ثبت وجود هذه الظاهرة فيها، فالمجرة الصغيرة م ٣٢ تحوى جرما معتما فى مركزها ذا كتلة ٥ × ١٠ ^٦ ك ش تقريبا. ومن الحالات الطريفة الأخرى مجرة سومبريرو[*] sombrero [٨٤]. فلهذه المجرة – كما لمجرة أندروميدا – على ما يبدو مركز دوار من النجوم، ذو كتلة بالمركز مقدارها حوالى ١٠ ^٩ ك ش. وقد حققت أفضل قياسات أجريت من على سطح الأرض، عن طريق تليسكوب هاواى الكندى الفرنسى، ذى الأربعة أمتار قطرا، دقة قدرها ٠٫٣ ثانية قوسية. إلا أن بيانات أفضل من تليسكوب هابل الفضائى قد أيدت بالدليل وجود كل هذه المنظومات [٨٦، ٨٧].

(*) مجرة سومبريرو (M104 or NGC 4594): مجرة لولبية فى كوكبة العذراء قدرها الظاهرى + ٩ ويمكن رؤيتها بمرقب صغير، لها نواة براقة ونتوء غير مألوف بمركزها المحتوى على ثقب أسود ذى كتلة هائلة. (المترجم)

ولكن هب أننا مقتنعون بأن هذه المجرات تضم كتلة معتمة مركّزة عند مراكزها، فهل يعنى هذا بالضرورة أنها ثقب أسود؟ (٨٧). ليس هناك "نتوء" مركزى فى توزيع الضوء المواكب للكتلة الجذبوية المزعومة (أو المفترضة) فى مركز المجرة م ٣١، والتى تقتضى - مهما يكن شأنها - أن تصل النسبة بين كتلتها إلى طاقة ضوئها - على أقل تقدير- ٣٥ ضعف هذه النسبة بالنسبة للشمس. ترى هل من الممكن أن يكون هناك تركيز غير معتاد من النجوم الخافتة قرب المركز؟ إن عنقودا مجريا يبلغ حيزه عشر سنوات ضوئية يناظر زاوية مقدارها ثانية قوسية لدى مسافة بعد المجرة م ٣١ عنا، ورغم أن هذه الحالة لا يمكن استبعادها بصفة نهائية، فإنه يمكن استثناؤها بناءً على الصور الأكثر دقة التى يمدنا بها مرقاب هابل الفضائى: فلو كانت الأنجم الأقرب إلى المراكز تتحرك بتسارع أكبر، بما يستدعى أن تكون المادة القاتمة مركزة فى نطاق زاوية مقدارها ٠٫١ ثانية قوسية حول المركز وليس فقط عبر نطاق الزاوية المركزية كلها (١ ثانية قوسية)، فمن شأن ذلك أن يستثنى وجود عنقود مجرى مدمج (متكدس) من المادة القاتمة. فمن شأن مثل هذا التكدس العنقودى أن يتطور بسرعة، باعتباره نتيجة للتلاقى بين النجوم، وبناءً على ذلك يكون من غير المحتمل العثور عليه فى مجرة عمرها ١٠ بليون سنة، ويمكن تطبيق نتائج مماثلة بالنسبة للأجرام الأخرى ذات الكتلة البالغة ٥ × ١٠ ^٦ ك ش لدى مركز المجرة م ٣٢.

على أن أكثر الحالات إقناعا بوجود ثقب أسود مركزى قد زودتنا بها تقنية مختلفة بالكلية عن طريق مسح مدهش ودقيق لحركة الغاز عن طريق خـط الانبعاث - الميزر(*) للماء (يد٢أ) فى المجرة اللولبية المتميزة غير المألوفة NGC4258 (**)والتى تقع على مسافة ٦٫٥ ميجابارسك (٨٧أ). والتحليل الطيفى فى

(*) الميزر: اختصار لعبارة Microwave Amplification by stimulated Emission Radiation (المترجم)

(**) المجرة NGC 4258: مجرة لولبية تبعد عنا بنحو مليون ٢١- ٢٥ سنة ضوئية- اكتشفها ميسير عام ١٧٨١. ويعنى الاختصار NGC : new general catalogue & nebula &

الخط الموجى متناهى الصغر كاف لتحديد السرعات بدقة تصل حدودها إلى ١ كيلومتر فى الثانية.

وصف خطوط الأساس المفرطة الطول(*) للتلسكوبات الراديوية المتصلة ببعضها يحقق تكبيرا زاويا أفضل من ٠,٥ مللى ثانية قوسية (وهو تكبير زاوى أدق بمائة ضعف، كما أنه تكبير طيفى للسرعات أدق بما لا يقاس مما يمكن لتلسكوب هابل الفضائى أن يحققه). ولقد كشفت هذه الأرصاد – فى قلب المجرة تماما– عن قرص ذى سرعات دوران تتبع تماما قانون كبلر حول كتلة قاتمة مدمجة. وتدور الحافة الداخلية لهذا القرص الذى تم رصده بسرعة ١٠٨٠ كيلومترا فى الثانية. وفى حكم المستحيل – وله نصف القطر هذا – أن يرسم حدود عنقود نجوم مستقر ذى عمر طويل تدلنا الأرصاد على أن كتلته تبلغ ٣,٦ × ١٠ ٧ ك ش. والدليل على وجود ثقب أسود والمستمد من هذه الملابسات والمعطيات قد تنامى باطراد عبر ثلاثين عاما. إلا أن هذا الكشف المرموق قد عوق مسيرة القضية تماما، فالكتلة المركزية يجب أن تكون إما ثقبا أسود أو شيئا حتى أكثر غرابة.

٤-٤-٢ هل هو وهج لنجوم شوشتها العوامل المدية

وليست هذه الثقوب السوداء الضخمة بالشىء غير المتوقع. فإذا نحن أصبنا فيما نحرزه من أعمار الكوازارات (وكم من أجيالها عاشت وماتت)، فإننا لن نشده إذا وجدنا ثقبا أسود فى أغلب المجرات (انظر جدول ١). لكن، وقبل أن نتقبل هذه النتيجة المستخلصة، علينا أن نواجه معضلة أدهى: هل يمكن لمثل هذا الثقب الأسود الضخم أن يكمن حقا فى هذه المجرات دون أن يستدل على وجوده بدلائل

---

clusters ولها قرص مائل ونتوء غير مألوف بالمركز الذى يحتوى على ثقب أسود هائل. (المترجم)

(*) سبق القول بأن نظام القياس عبر الخطوط مفرطة الطول VLBI يقصد به نظام تجميع الأرصاد لنفس الجرم فى ذات الوقت من مرقبين راديويين متباعدين جدا. (المترجم)

أخرى؟ لقد اعتدنا على فكرة أن الثقوب السوداء (عند تضامها وتلاحمها) تمثل مصادر إشعاع ذات كفاءة، إلا أنه ما من علامة على مثل هذا النشاط فى المجرة م ٣١: والحد الأعلى لهذا النشاط بها لا يزيد على جزء من عشرة آلاف جزء من شبه نجم. فهل يمكن أن ينضب ثقب أسود تماما من الوقود بحيث لا يظهر له وجود – حتى على الأقل فى صورة شبه نجم بالغ الضآلة؟

ليس هناك تعليل مسبق أو مفضل لماذا لا يكون الغاز قد انقشع من مركز المجرة م ٣١ تماما. ومعروف – على كل حال – أن كثافة نجم ما تكون مرتفعة، إذا لم تكن النجوم مكدسة بشدة عند مركز المجرة، فلا دليل لدينا على وجود ثقب أسود على الإطلاق. ويتخذ كل نجم لنفسه مسارا معقدا تحت التأثير المشترك لكل النجوم الأخرى، وتأثير الثقب نفسه. وتتغير المدارات تدريجيا أو تحيد عن مساراتها نتيجة تراكم تأثيرات التقائها بنجوم أخرى. وثمة احتمال أن تزحزح هذه الالتقاءات مسار النجم فى اتجاه نصف قطر المجرة تقريبا بحيث يدنو كثيرا من الثقب. وقد يسقط نجم ما – عرضا – داخل الثقب تماما.

على أن هناك حدا للمدى الذى يمكن لنجم أن يدنو به من ثقب أسود دون أن يتعرض للدمار، فالنجم المدمج بشدة – كالقزم الأبيض على سبيل المثال– قد يقع داخل ثقب أسود هائل لأول مرة – بدرجة أو بأخرى. على أن النجوم الأضخم أكثر تأثرا بالعوامل المدية. وبمقدور المرء أن يحسب إلى أى مدى يمكن أن يقترب نجم عابر قبل أن تمزقه القوى المدية إربا. ويتناسب نصف قطر الثقب الأسود نق $_{ث}$ مع كتلته، فى حين أن نصف القطر المدى نق $_{م}$ يتناسب مع الجذر التكعيبى فحسب (انظر شكلى ٢٤، ٢٥). وثقب فى اتساع الثقب الذى يقال بوجوده فى المجرة م ٨٧ بمقدوره ازدراء نجم من نوع شمسنا دون أن يلم به أدنى اضطراب. على أية حال إذا كان للثقب كتلة تتراوح ما بين ١٠ ^{٦}، ١٠ ^{٨} ك $_{ش}$ (وهو النطاق المناظر لأدنى المجرات منا) فإن نصف القطر المدى لنجم كالشمس يكون أضخم من الثقب نفسه بمقدار يتراوح ما بين ١٠ مرات، مائة مرة.

ويمثل حسابات احتمال مرور نجم فى نطاق نصف القطر المدى لثقب مركزى طبقا لديناميكيات النجوم، مشكلة بالغة التشابك – وإن أمكن التعامل معها– وتقع مثل هذه الأحداث مرة كل بضعة آلاف من السنوات، حيث يعتمد المعدل المضبوط على إحصائيات عن مدارات النجوم، وبوجه خاص على مدى السرعة التى يعاد فيها ملء مدارات مخروط الفقدان Loss cone النصف قطرية.

وقد يكون الوهج الناجم عن اضطراب نجم ما، هو أوضح الوسائل للتحقق من وجود ثقب أسود (٨٨). وتمثل هذه الظاهرة تحديا غير مسبوق لنماذج المحاكاة عن طريق الحاسب الآلى. ويجب أن تنقل الحسابات المبدئية التى تمت فى هذا الشأن حتى الآن جوهر ما يجرى. فسوف يتناثر نحو نصف الحطام الناجم، بسرعات تصل إلى عشرة آلاف كيلومتر فى الثانية، فى مدارات لها شكل القطع الزائد. فى حين سيحتبس النصف الآخر بالثقب، وينسحب فى مسار دوامى لولبى نحو داخله [٨٨، ٨٩]. وسوف تتوهج النواة فى لمعان يفوق لمعان المستعر الأعظم supernova، بل إن لمعانها ليصل تقريبا لمستوى شبه النجم، إلا أن ذلك لن يدوم لأكثر من سنة. ويصعب حساب كم من هذا الإشعاع سيبزغ فى النطاق المرئى. وكم سيكون الجزء الداخل فى نطاق الأشعة تحت الحمراء (أو حتى الأشعة السينية) من الطيف الكهرومغناطيسى.

والسؤال الثانى هو: بأى معدل سوف يخبو اللمعان، وكم من الوقت سيدوم حتى تخبو البقية الباقية منه. وتنبع أهمية هذا السؤال من أننا نود معرفة ما إذا كان التألق سيذوى إلى ما دون مستويات إمكانية رصده قبل أن يحدث الاضطراب النجمى التالى بعد ١٠ ^{٣} إلى ١٠ ^{٤}سنة. ولا تزال تفصيلات كل ذلك موضع جدال، فعمليات الإشعاع وسريان الغاز تميل إلى أن تكون أكثر صعوبة فى حسابها من الظواهر الديناميكية، التى يمكن فيها التعامل مع النجوم باعتبارها نقاطا تتركز كتلتها عند مركزها – طبقا للمبدأ النيوتونى (تماما كما أشرنا فى الباب الثالث إلى

أن أصعب النواحى فى تَكَوُّن المجرة من حيث تقديرها كميا، هى تلك النواحى المرتبطة بالكون الباريونى).

لعل التوهج المتنبأ به يكون أصلح وسيلة لاختبار صحة فرضية الثقب الأسود. ومن الواضح أننا لا ينبغى أن نتوقع اختبار كهذا من المجرة م ٣١ فى خلال أعمارنا نحن ولكن لو أن أغلب المجرات تحتضن ثقوبا سوداء، فإن مسحا يشمل أقرب عشرة آلاف مجرة منا سيظفر ببضعة من هذه الثقوب خلال ذروة توهجها، بل وربما أكثر من ذلك.. فى حالة ما إذا كان تمييز أحدث الاضطرابات المدية بها فى حيز الإمكان. وينبغى أن تكشف لنا برامج المراقبة بصفة عاجلة أمثلة من هذه الظاهرة الجديدة، أو أن تبدأ فى إرساء حدود ذات مغزى للثقوب السوداء المركزية و/أو الاضطرابات النجمية فيما حولها.

٤-٤-٣ ملحوظة فيما يتعلق بمركز مجرتنا:

لعله من يمن الطالع أن توجد أضخم الثقوب فى المجرات الإهليلجية. على أية حال، تومئ المؤشرات من المجرة م ٣١ والمجرات القرصية الأخرى إلى أن مجرتنا نحن كانت ستصبح شحيحة الحظ من الرزق لو خلت من ثقب أسود فى مركزها. ولسنوات طوال كان هناك دليل من الملابسات على وجود كتلة مادية مركزة لدى المركز قيمتها عدة ملايين من كتلة شمسنا. ولقد أتى هذا الدليل –على أية حال– فى المقام الأول من حركات تيارات الغاز أكثر من إتيانه من النجوم. فالغاز عرضة لقوى غير جذبوية، وقد لا يتبع فى مساره مسار المقذوفات المعتاد، ومن ثم فهناك بعض الغموض [٩٠]. ويلوح أن مصدرا راديويا مدمجا فريدا يكمن – دونما حركة تقريبا – فى المركز الديناميكى لمجرتنا. ومن الطبيعى – وليس هذا بالأمر الفريد – أن يفسر هذا المصدر على أنه تأثير من مستوى منخفض جدا من تلاحم (تضام) فوق ثقب أسود ضخم.

إلا أن الدليل المباشر ظل غير حاسم حتى سنوات قلائل، فالغاز والغبار المتدخلان فى مستوى مجرة الطريق اللبنى يمنعاننا من الحصول على صورة بصرية واضحة للنجوم لدى المركز، مثلما يمكننا فى حالة المجرة م ٣١. ونحن نعرف الكثير عن تحركات الغاز من القياسات الراديوية وقياسات الأشعة تحت الحمراء، لكن يصعب تفسير أو تأويل تلك القياسات لأن الغاز لا يتحرك فى مسارات المقذوفات مثل النجوم، وإنما قد يتأثر بتدرجات فى الضغط، وبالرياح النجمية وغيرها من العوامل غير الجذبوية.

على أن الموقف قد تبدل من خلال أرصاد مشهودة لنجوم تقع فى المنطقة تحت الحمراء القريبة[٩١]، حيث تقل العقبة المتمثلة فى عدم الوضوح الذى تتسبب فيه المادة المتداخلة. لقد أجريت هذه الأرصاد باستعمال أجهزة ذات حساسية تكفل تكبيرا كافيا لاستشعار التحركات فى الاتجاه العرضى لبعض النجوم على مدى ثلاث سنوات (وهو جهاز حديث التقنية من ESO فى شيلى). ولقد أكدت تلك الأرصاد بيانات تلسكوبى "كيك"(*)، وحددت بالمثل السرعات فى اتجاه نصف القطر من دراسة الأطياف. ومن هنا صار لدينا معلومات – فى الأبعاد الثلاثة – عن كيفية حركة النجوم فى نطاق ١و٠ ميجابارسك من مركز مجرتنا. وتتناسب السرعات حتى ٢٠٠٠ كيلومتر فى الثانية مع نق$^{-\frac{1}{2}}$ (مقلوب جذر نصف قطر) مقيسا من المركز، فى ترابط مع وجود ثقب كتلته ٢٫٥ × ١٠^{٦} ك$_{ش}$. ويزودنا مركز مجرتنا الآن بأكثر الحالات إقناعا بوجود ثقب ذى كتلة هائلة، مع استثناء وحيد.. هو المجرة NGC 4258.

٤ـ ٥ الثقوب السوداء الثنائية:

ربما كان هناك ثقوب سوداء مركزية فى أغلب المجرات [٩١أ]. ونستنتج من المعطيات فى شكلى ٢١، ٢٢ أن معظمها قد تشكل سلفا عندما كان عمر الكون بين

(*) انظر الباب الأول.

٢، ٣ بليون سنة. ووفقا للتصور الهرمى التسلسلى لنشأة الكون، تكون أغلب المجرات قد مرت بعمليات اندماج منذ ذلك الحين. وفى الواقع يشيع لدينا رصد حالات اندماج المجرات. وعندما تندمج مجرتان، فإن مدارات النجوم المكونة لهما تختلط و تتشابك، وتكون المحصلة "تلا" من النجوم يشبه فى هيئته مجرة إهليلجية. وإذا كانت كل من المجرتين الأصليتين تحوى ثقبا أسود ضخما، فإنهما ستندمجان فى شكل لولبى عند مركز المجرة الناجمة عن الاندماج، مكونتين ثقبا أسود ثنائيا ضخما.

وفى خاتمة المطاف، يتقارب الثقبان بما يكفى لكى يتأثر كلاهما أكثر وأكثر بالشد الجذبوى الذى يمارسه عليه الثقب الآخر، والذى يتخطى عند ذلك تأثير مجموعة النجوم المحيطة بهما. ويستمر هذا الثقب الأسود الثنائى فى الانكماش – مع نقله لطاقته الحركية إلى النجوم (ولعله يعانى أيضا من سحبه للغاز)، إلى أن يقترب قربا كافيا من حد الإشعاع الجذبوى(*)، ويتناسب مقياسه الزمنى مع قوى الانفصال مرفوعة للأس الرابع، مما يجلب فى النهاية تمام الالتحام. وتنبعث – خلال المراحل الأخيرة من الحركة اللولبية إلى الداخل المؤدية إلى الالتحام، دفقة قوية من الإشعاع الجذبوى، تصل إلى ١٠ فى المائة من كتلة (أو طاقة) الثقبين. ومن الممكن أن نستشعر هذه الموجات الجذبوية فى نطاق الترددات المنخفضة جدا (من ١٠ ^-٣^ إلى ١٠ ^-٤^ هيرتز)، حتى من قيم الانزياح نحو الأحمر العالية، عن طريق خرائط أجهزة قياس التداخل الفضائية interferometers، مثل مشروع LISA(**) الذى تخطط له فى الوقت الراهن وكالة الفضاء الأوربية(***)، والذى

(*) الإشعاع الجذبوى gravitational radiation : صورة من الطاقة المنبعثة من الكتل المتسارعة فى شكل موجات تنطلق فى (الزمكان) بسرعة الضوء من المستعرات العظمى والأجرام التى تهوى فى الثقوب السوداء (وإن لم يتم استشعارها حتى الآن). (المترجم)

(**) Lisa: اختصار لعبارة laser interferometer space antenna: وهى بعثة لاستشعار ودراسة الموجات الجذبوية الآتية من مصادر تشمل الثقوب السوداء الضخمة والمجرات الثنائية، وهو مشروع مشترك بين وكالة ESA & NASA. (المترجم)

(***) صدر هذا الكتاب عام ٢٠٠٠.

سيتضمن مراقبة أشعة الليزر المتنقلة من مركبة فضاء تبعد بمسافة ٥ ملايين كيلومتر فى مدار حول الشمس. ومهما يكن فثمة أنباء محبطة للقائمين بهذه التجربة، لأن معدل هذا الحدث ينبغى له أن يكون أقل من مرة فى كل عقد، وإلا لكان هناك اكتظاظ بالثقوب من ذوات الكتل المتوسطة (ما بين ١٠ ⁴، ١٠ ⁶ ك ش)، علاوة على تلك الثقوب التى تواكب الكوازارات [٩٢]. ولحسن الحظ ففيما يختص بتجارب مشروع ليزا ستكون الأجهزة حساسة بما يكفى كى تستشعر أضعف الموجات الجذبوية التى تنبعث من نجم مدمج (أو ثقب له كتلة نجم) يدور قريبا من ثقب هائل الضخامة يقدر بحوالى ١٠ ⁶ ك ش، فى مجرة قريبة.

وبالمناسبة، لا يتضح تمام الوضوح ما إذا كان الثقب الناتج عن عملية اندماج سيبقى ثاويا فى مركز المجرة التى (تستضيفه). فربما يحدث ارتداد على الأعقاب نتيجة لانبعاث عزم خطى محصل من الموجات الجذبوية فى الالتحام الختامى [٩٣]. وهو تأثير جذبوى ذو مجال قوى، يعتمد أساسا على غياب التماثل فى المنظومة. ومن ثم فلا يمكن حسابه بالدقة اللازمة إلا إذا توفرت حسابات ذات جدوى فى الثلاثة أبعاد قائمة على أسس نظرية النسبية العامة. وتلك واحدة من التحديات الكبرى التى تمثل مشكلة فى فيزيائيات الحسابات بالكمبيوتر فى الولايات المتحدة، ولعل من الممكن إنجازها قبل أن ينطلق مشروع ليزا. والسرعات التى تتضمنها هذه العمليات – وعلى أساس تقريبات ابتدائية كثيرة – قد تصل إلى عدة مئات من الكيلومترات فى الثانية. وإذا ما انجرف ثقب ثالث للداخل قبل تمام اندماج الثقبين، فإن طلقات كالنبال ذات طابع نيوتونى قد تؤدى إلى الانطلاق بسرعات أعلى. وعلى ذلك فإن بعضا من الثقوب السوداء بالغة الضخامة قد تكون جوالة على غير هدى فى الفضاء فيما بين المجرات.

٤ـ ٦ تأملات حول تطور أشباه النجوم فى ضوء تفسيرات نشأت الكون:

لا يمـــكن –افتراضا– أن يبدأ نشاط شبه النجم حتى تكون بعض المجرات (أو على الأقل مناطقها الداخلية) قد تكاثفت من الكون الآخذ فى التمدد، بحيث إن

النشاط الخارج عن حدود السيطرة يمكن أن يحدث داخل بئر مجال موضعي. وتمثل حقيقة أن الكوازارات تشكلت في مرحلة مبكرة من عمر الكون محددا مهما للنماذج الموضوعة عن تشكل المجرات، وعلى وجه الخصوص النماذج التنازلية (الأعلى- الأسفل) التي تقول بأن التكوينات على المقياس الكبير تتكون قبل المجرات المنفردة. فعلى سبيل المثال، لدينا النموذج اللاحراري الكاظم للحرارة adiabatic البسيط(*) (أو النموذج الكعكة كما يطلق عليه) والذي تهمين عليه النيوترينوهات- عندما تتعدل سعة الذبذبة بحيث تتوافق مع بيانات عملية التجمع في عناقيد أو عدم التجانس في خواص خلفية الموجات فائقة الصغر الذي كشف عنه القمر COBE، فهذا النموذج لا يستطيع أن يفسر انهيار المنظومات عند هذا الانزياح العالي صوب الأحمر.

وفي نماذج التسلسل الهرمي للتكون، من المتوقع أن يتطور أكثر الكوازارات تبكيرا في أول آبار مجال ذات كتلة وعمق كافيين، وهي التي تقوم بعد انهيار القمم ذات السعات المرتفعة في التوزيع الابتدائي للمادة المعتمة. وفي نموذج المادة المعتمة الباردة (CDM) القياسي تكون للقمم (أكبر من ٣ σ) والتي تنهار عند ز= ٥، تكون لها كتلة تتراوح ما بين ١٠ ^١١^، ١٠ ^١٢^ كش، وتصل تشتتات السرعة ع ش إلى ٤٠٠ كم / ث.

وهذه الهالات المقيدة لا بد وأنها - بالتأكيد - تحوي من الكتلة ما يكفي لتشكل كوازار وآبار مجال عميقة عمقا يكفل كفاءة احتجاز الباريونات، وعدم اليقين الرئيسي هو ما إذا كان الغاز الداخلي البالغة كتلته ١٠ ^٩^ ك ش (والذي يدور حول نصف قطر مقداره ٥ كيلوبارسك) يستطيع أن يفقد العزم الزاوي ويستقر عند المركز، وإلى أي مدى تصل سرعة ذلك(٩٤).

وقلب الغاز وكتلته ١٠ ^٩^ ك ش من شأنه أن يهوي إلى الداخل في زمن يصل إلى ١٠ ^٨^ سنة، إلى أن تبرز أهمية العزم الزاوي، ما لم تتحول كل هذه الكتلة في

(*) العملية الأديباتية في الديناميكا الحرارية هي العملية التي تتم دون تبادل حراري. (المترجم)

الحال إلى نجوم. ولقيمة نمطية للمعامل λ فى المجرة الابتدائية، من شأن الدعم الدوار rotational support أن يوقف الانهيار عند ١٠٠ بارسك، إذا احتجز الغاز كل عزمه الزاوى الابتدائى، ويجوز أن تتم عملية تشكل النجوم خلال هذا التقلص حقا. وهذا هو الأسلوب الذى قد ينشأ به البروز الداخلى فى مجرة كبيرة. ويبين شكل (٢٦) بصورة تخطيطية بعض العمليات التى تجرى خلال ذلك، ويمكن أن تتولد العناصر الثقيلة عن طريق النجوم مرتفعة الكتلة خلال هذا التقـلـص. ولا يمكننا التنبؤ بنسبة التفرع(*) branching ratio بين تكون النجم والتقلص المباشر.

ومقياس الرسم الديناميكى عند ١٠٠ بارسك هو ٣ × ١٠ ٦ سنة. والسؤال التالى هو ما إذا كانت المادة المدعومة دورانيا عند هذه القيمة من نصف القطر (الغاز الذى لم يتحول) مع المادة التى تحولت عن طريق النجوم يمكنهما الاستمرار فى التقلص والسقوط بصورة أكبر نحو المركز. وبشكل محدد، من الأهمية معرفة ما إذا كان هذا الغاز قادرا على فقدان عزمه الزاوى فى خلال فترة أقل من تلك اللازمة لمائة دورة كاملة (أى خلال ٣ × ١٠ ٨ سنوات) فإذا كان لا يستطيع فإنه لن يقوى على بدء تكوين كوازار فى زمن مبكر مثل الحقبة، التى كان فيها المعامل ز = ٥.

يصعب تقييم كفاءة نقل العزم الزاوى بصورة كمية. على أية حال تشير نماذج المحاكاة إلى أنه – فى المنظومات ذاتية الجاذبية– يستغرق نقل العزم الزاوى فى الاتجاه إلى الخارج بضعة أضعاف من معامل الزمن الديناميكى dynamical timescale [٩٥]. وإذا كان الأمر حقا كذلك فإن كتلة مقدارها ١٠ ٨ إلى ١٠ ٩ ك ش من الباريونات (أثريت سلفا بالعناصر الثقيلة) يمكنها أن تتراكم فى منطقة بالمركز لا يزيد حيزها عن بضعة بارسكات عبر ١٠ ٨ سنوات عقب

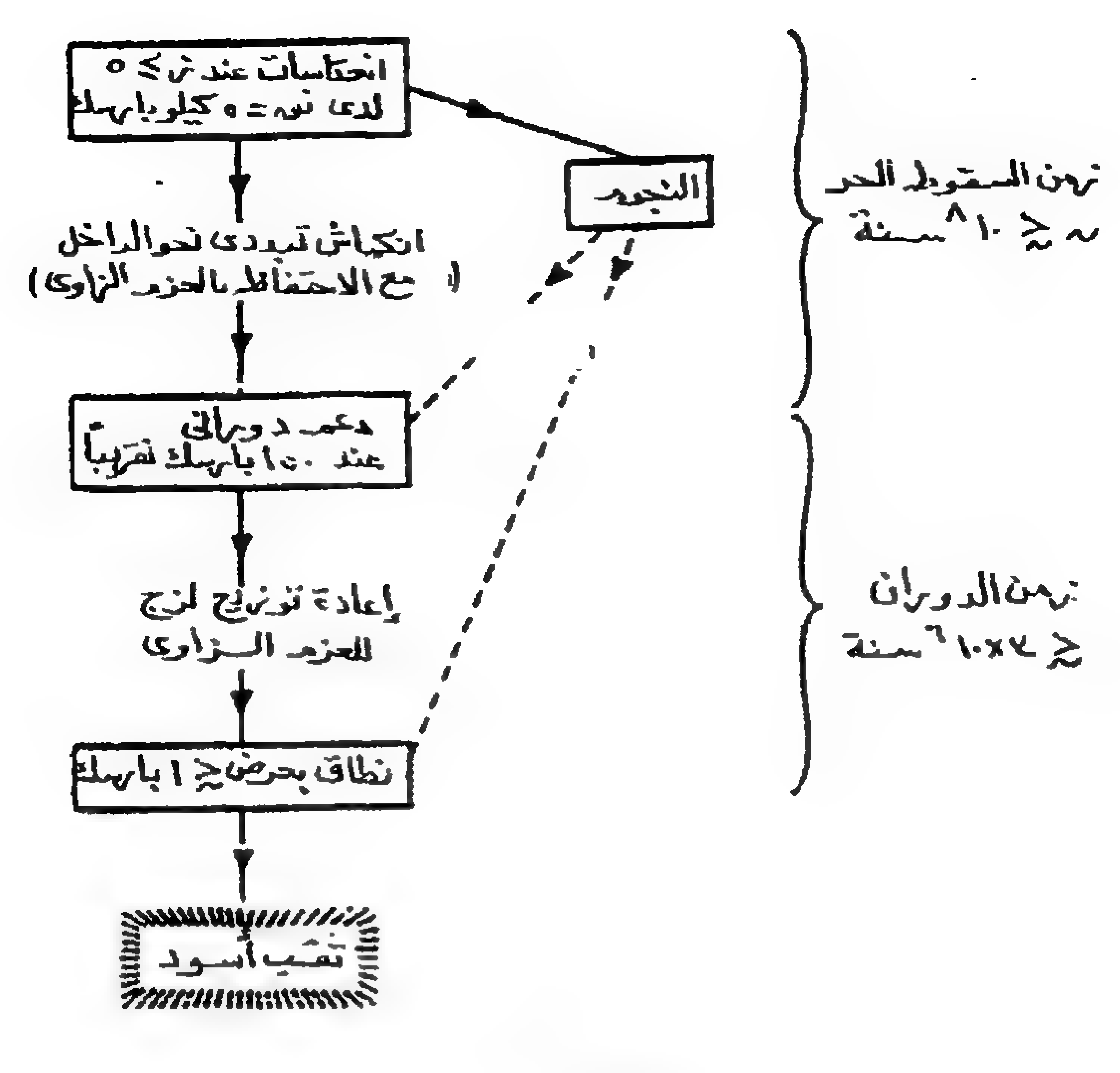
(*) نسبة التفرع branching ratio: النسبة ما بين عدد الجسيمات المضمحلة بأسلوب ما إلى عدد الجسيمات المضمحلة الكلى. (المترجم)

الانهيار الابتدائى. حقا.. إن تجنب مثل هذه النتيجة يبدو فى حكم المستحيل. والسلسلة الوحيدة من الأحداث التى من شأنها أن تعيق التراكم (والانهيار غير المحكوم) لتركز الكتلة حول المركز هو تحول كامل وسريع للغاز، الذى يهوى نحو الداخل (انظر شكل ٢٦) داخل النجوم منخفضة الكتلة هذه لدرجة أنها لا تلفظ أيا من مادتها– كما أنها لا تعيد تدويرها– خلال ٣×١٠^{٨} سنة.

إن المحاكاة الكونية بأسلوب (العدد النونى من الأجسام) [*] تبين أن الهالات الكبيرة فى الحقبة الراهنة لها تواريخ متنوعة: فبعضها تكونت لها نوى حول قمة مفردة، وغيرها نتج من اندماج – حديث نسبيا لمجموعات تتخثر حول قمم عالية منفصلة فى التوزيع الأولى للكثافة، لكنها تبدأ فى التكون بصفة عامة من الداخل متجهة للخارج: فالكتلة البالغة $١٠^{١٠}$ ك $_{ش}$ قد تقوم عند ز أكبر من ٨ حتى ولو لم تكن الهالة تامة التكون لغاية ز < ٢. والباريونات التى يرجح احتمال تجمعها فى جرم مدمج بالمركز هى التى تتحد –بكل دقة بالمادة الداخلية: وهناك احتمال بكل تأكيد أن جزءا كبيرا من هذه الباريونات ($١٠^{٩}$ ك $_{ش}$) سيسهم فى نوى المجرات النشطة. ومن ثم فقد يضطرم شبه النجم قبل أن يتم تجمع الهالة، وربما يتزامن طوره النشط مع تكون النجوم فى (النتوء). وتكون المنظومات (الحاضنة) قد جمعت هالات ذات كتلة تربو على $١٠^{١٢}$ ك $_{ش}$. وأكبر المواضع القريبة المبشرة بوجود كوازارات ميتة هى بالتالى مراكز المجرات بالغة الكبر، لكن هذا لا يعنى أن انطلاق نشاط الكوازار سينتظر حتى تمام تكوين الهالة بأكملها [٩٤].

بالنظرة الأولى، قد يعتقد المرء أن النشوء ذا الطبيعة التراتبية الهرمية للكون، حيث يتدرج تعمق آبار طاقة الوضع وتعاظم كتلتها باطراد، سيسفر عن ثقوب سوداء أكبر، ومن ثم عن نوى مجرية نشطة أكثر قوة فى الحقب الحديثة. غير أن دالة اللمعان المبينة بشكل (٢١) تشير إلى عكس ذلك، فالكوازارات ذات قيم أعلى للمعامل ز تحتوى – نمطيا – على ثقوب سوداء أكثر ضخامة.

(*) انظر بند (٣– ١) بالباب الثالث. (المترجم)



شكل (٢٦)

العمليات والمقاييس الزمنية لكتلة مركزية ١٠ ⁹ ك ش من الباريونات فى مجرة أولية تبدأ فى التقوض عند ز ≤ ٥. تكوّن هذه المادة النتوء النجمى وربما أيضا تُكَوِّن ثقبا أسود مركزيا ولعل الكوازارات ذات قيمة ز المرتفعة تجسيد لهذه العملية.

كيف يحدث هذا؟ إن عملية تكون ثقب أسود يقتضى بئر طاقة وضع عميقا، لكنه يكون أكثر كفاءة عندما يقع الانهيار لدى حيود أكبر صوب الأحمر. وذلك لأن المنظومات التى تنهار أولا تميل إلى الاحتواء على كثافة أعلى (ومن ثم تسمح

بتبدد أكثر كفاءة) وكذلك بعزم زاوى أقل. وبافتراض أن كل هالة تحتفظ بلمعان إدنجتون قدره ١,٠ن س، أى ٤ × ١٠ ^٧ سنة قبل أن تذوى، فإن نماذج نظرية بعينها – تمشيا مع هذا الخط – تنتج توافقا مرضيا مقبولا مع دالة لمعان الكوازار، ومع أسلوب ارتفاعها وانخفاضها بين ز = ٥ والحقبة الزمنية الحالية (انظر شكلى ٢١، ٢٢).

والكوازارات النادرة ذات قيمة ز منخفضة والنوى المجرى النشطة لا توجد فى المجرات حديثة النشأة: فبعض ظروف التأثيرات البيئية- على سبيل المثال التفاعل الداخلى الوثيق أو الاندماج مع جار- من شأنها أن تعيد النشاط لجزء صغير من المجرات التى تكونت فعلا. (غالبا ما نخمن أن جميع الكوازارات تضطرم بمثل هذا التفاعل البينى. على أية حال فما لمجرة أن تستقر عند – الحيودات العالية صوب الأحمر- على تكوين ساكن ومتماثل حول المركز. ومرحلة شبه النجم هى عملية ملازمة لعملية الاستقرار والتقويم هذه.

ويختتم كتاب هابل العظيم (عالم السدم) [٩٦]، بهذه الكلمات: "لدى الأجواز القصية، تتضاءل معارفنا، بل تذوى وتشحب بسرعة. وفى خاتمة المطاف نصل إلى تخوم معتمة، وهى منتهى حدود تلسكوباتنا. فهناك لا نقيس سوى الظلال، متلمسين سبلنا بين الأشباح فى صورة أخطاء فى قياساتنا وسعينا وراء دلائل وعلامات نادرا ما نعثر فيها على ما يشفى الغليل. ولكن سعينا سيستديم حتى تكل وتعجز تجاريبنا وتسلمنا إلى اللجوء إلى عالم الخيال والتأمل". ومستمر هو هذا السعى مع كل مرقاب وأجهزة استشعار أعلى قدرة يتم تركيبها. فأفكارنا عن نشوء الكـوازارات مـا زالت نـوعية غيـر كمية، ويمكننا أن نؤكدها (أو نفندها) إذا ما توفرت لدينا أرصاد أفضل لمجرات ذات حيود عال صوب الأحمر،" ولمستضيفات" أشباه النجوم ذات القيم ز العالية وذلك أكثر من مجرد النشاط بالمركز. إن البيانات التجريبية تتقدم بسرعة، والعلماء المنظرين يبثون طائفة من الأفكار قد لا تكون بالضرورة متوائمة، لكنها تدفع فى محصلتها النهائية بمفاهيمنا

إلى الأمام. وطبيعة النشاط داخل مراكز المجرات مازالت غامضة بعض الشيء. ولكن الأسئلة المحورية هى التى تحتل – على الأقل – بؤرة اهتمامنا فى الوقت الراهن.

فى عام ١٩٧٥ كتب شاندراسيخار: "فى كل حياتى العلمية، كانت أعظم الخبرات إنهاكا لى هى التحقق من أن الحل المضبوط لمعادلات آينشتاين للنسبية العامة والتى اكتشفها الرياضى النيوزيلاندى روى كير Roy Kerr، يعطى التمثيل الدقيق المطلق للأعداد التى لا يذكرها أحد من الثقوب السوداء الكثيفة التى يكتظ بها الكون". بل لقد تبين بوضوح أكبر الآن أن هناك حقا العديد من الثقوب السوداء الضخمة بقدر ما هناك من مجرات والجهود الرامية إلى فهم العمليات الفيزيائية المرتبطة بها: التضام، واضطرابات النجوم المدية، والموجات الجذبوية، إلخ، قد تطلعنا – مكافأة لنا – على بعض التأثيرات ذات العلاقة بنظرية النسبية والتى تتيح لنا أن نختبر نظرية آينشتاين فى نموذج المجال القوى strong field regime.

الباب الخامس

بعض وسائل وأدوات الاستشعار والمخلفات من الكون ذى الانزياح الكبير صوب الأحمر

٥- ١ الكوازارات.. بوصفها وسيلة لقياس وسبر الغاز المتداخل.

٥- ١- ١ هل يتسم الفضاء الوسيط بين المجرات بالتجانس؟

نلمس – فى أطياف الكوازارات ذات القيمة ز> ٢- انزياح الإشعاع المنبعث الواقع على الجانب الأزرق من خط (ألفا ليمان) صوب النطاق المرئى (شكل ٣ مثلا). ولهذا الرصد البسيط دلالات مهمة فيما يخص الوسط ما بين المجرات "Intergalactic medium"، تم التعرف عليها منذ ١٩٦٥، وارتبطت باسمي جن Gunn وبترسون Peterson[٩٨]. ومساحة مقطع الامتصاص عند خط رنين(*) ألفا ليمان متسعة لدرجة لا يتمكن معها مثل هذا الإشعاع من أن ينفذ إلينا إلا إذا قلت كثافة الهيدروجين المحايد (HI) إلى حدود ١٠ $^{-11}$ سم $^{-3}$. وكم سيكون مذهلا لو كان نشوء المجرة قد أفرغ الفضاء ما بين المجرات تماما بحيث وصلت كثافة الغاز إلى هذه الدرجة من الضآلة. والتفسير الأكثر رجحانا هو أن الكون يتخلله الإشعاع فوق البنفسجي بكثافة تكفى للمحافظة على أى وسط منتشر ما بين المجرات فى حالة تأين كاملة تقريبا مثل نطاق HII (يد٢) المحيط بالنجوم الحارة(**). وخلفية الأشعة فوق البنفسجية من أشباه النجوم، وربما كذلك من تجمهرات النجوم الحارة فى المجرات الفتية صغيرة السن قد ينبغى أن تكون من

(*) خط الرنين Resonance line: هو خط طيفي يحدثه إلكترون قافز بين حالته الأرضية وأول مستويات الطاقة فى ذرة حديد، وهو عادة أقوى خطوط الطيف وخط أطول موجة بين هذين المستويين. (المترجم)

(**) HII: هو سديم هيدروجينى عالى الحرارة (حوالى ١٠٠٠٠ درجة على مقياس كلفن) مكون من نجوم محاطة بهيدروجين وهليوم متأينين. (المترجم)

الشدة بحيث تكفى لأن تحدث ذلك، بشرط ألا يزيد إسهام الوسط ما بين المجرات الكلى فى (ى) بصورة محسوسة، عن مستوى إسهام ى ـ الحالى والآتى من المجرات والعناقيد.

وتقع درجة الحرارة المحسوبة للوسط بين المجرات والمتأين ضوئيا ما بين١، ٥×١٠^{٤} على مقياس كلفن، وتتوقف الدرجة المضبوطة على شكل طيف الخلفية فوق البنفسجية (والتى تحدد متوسط الطاقة لكل إلكترون فوتونى(*) عند حدوث تأين) وعلى تأثيرات التمدد اللاحرارى، إلخ.. وباعتبارها فكرة بديلة– نوقشت على نطاق عريض فى الأعوام السابقة، قد يكون الوسط ما بين المجرات حارا بما يكفى كى يشع أشعة سينية (أى أعلى كثيرا من مليون درجة كلفن)، ويكون التأين الناجم عن الاصطدامات (التأين التصادمى) وحده قادرا على الحفاظ على النسبة التى يسهم بها الجزء المحايد) تحت مستوى $١٠^{-٦}$ المطلوب. وتبدو هذه الفكرة فى الوقت الحالى مما يمكن مجرد الدفاع عنه. ففى أى وقت ينشر إلكترون حرارى حار فوتونات لينــة(**) – على سبيل المثال ترتفــع الطاقــة المتوسطة للفوتون مــن فوتونات خلفية الموجات بالغة الصغر بمقدار Δ ط ـ÷ط ـ = بو. د ÷ ك؛ س^{٢}. ونحن نعرف الآن أن التشوهات فى طيف خلفية الموجات بالغة الصغر نتيجة جسم أسود مضبوط تقل عن مستوى $١٠^{-٤}$، ويحد هذا بشدة من التاريخ الحرارى للغاز فيما بين المجرات ويحصره عند د > $١٠^{٦}$ كلفن. والغاز الوحيد الساخن سخونة كافية ليشع أشعة سينية يوجد فى التجمعات والعناقيد المجرية، حيث كان قد سخن بالصدمات **shock heated** فى خلال الانكماش والتقويم.

٥ـ ١ـ ٢ الغاز الموزع توزيعا غير متجانس: (غابة ألفاليمان)

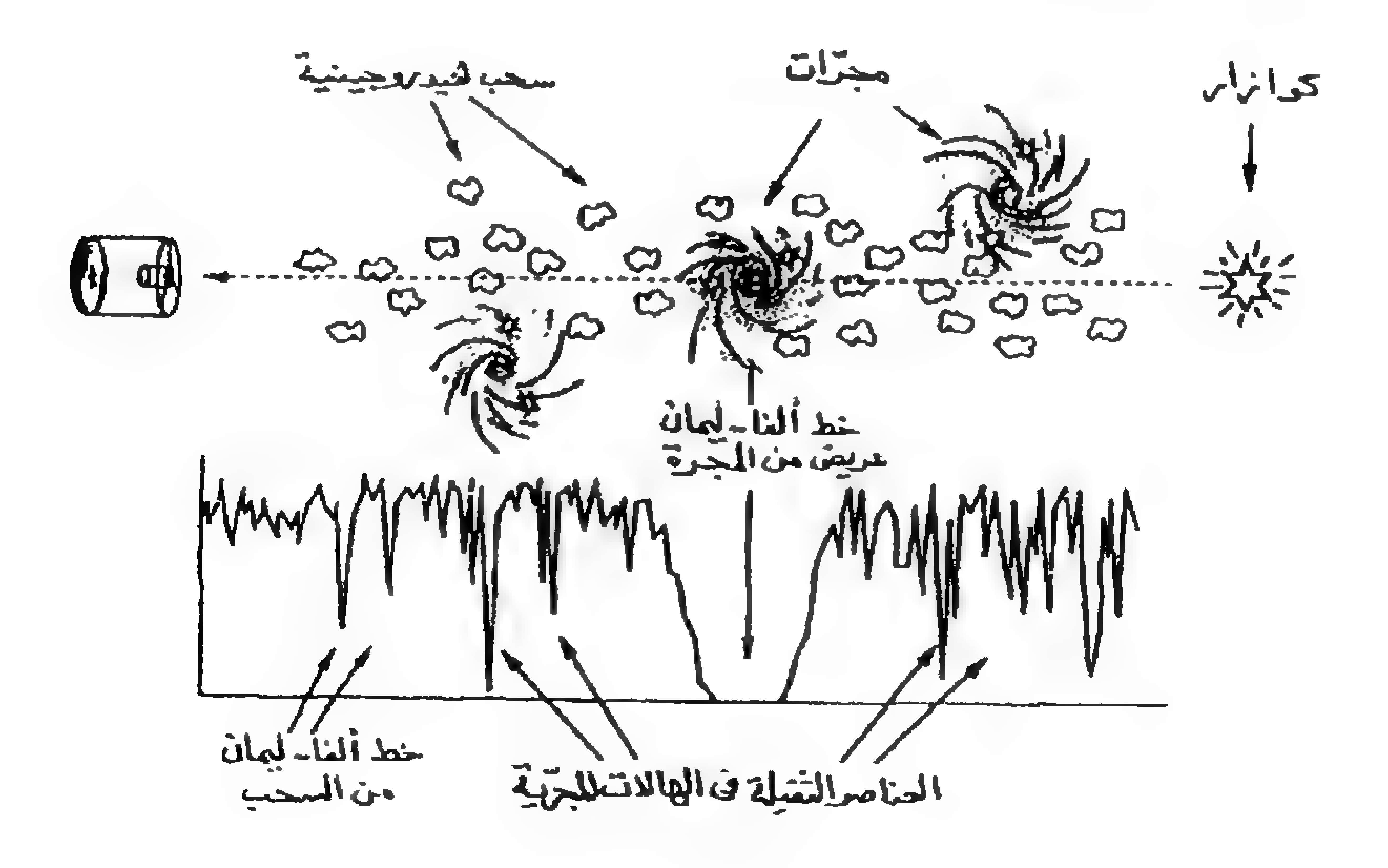
لقد اتضح أن فكرة تجانس الوسط بين المجرات مجرد وهم، وخواصه الآن قد قيدت بشدة ولكن حتى فى الحقبة التى تم سبرها عن طريق الكوازارات ذات

(*) الإلكترونات الفوتونية: إلكترونات تنبعث من أسطح معينة لدى سقوط أشعة الضوء عليها. (المترجم)

(**) الفوتونات اللينة soft photons: هى فوتونات ذات طاقة أقل من طاقات الجسيمات التى تسهم فى عملية تشتت معينة. (المترجم)

قيمة ز عالية يجب أن نتوقع أن تتركز الباريونات فى المجرات الابتدائية والتكوينات الأخرى. وهناك العديد من الأدلة على ذلك.

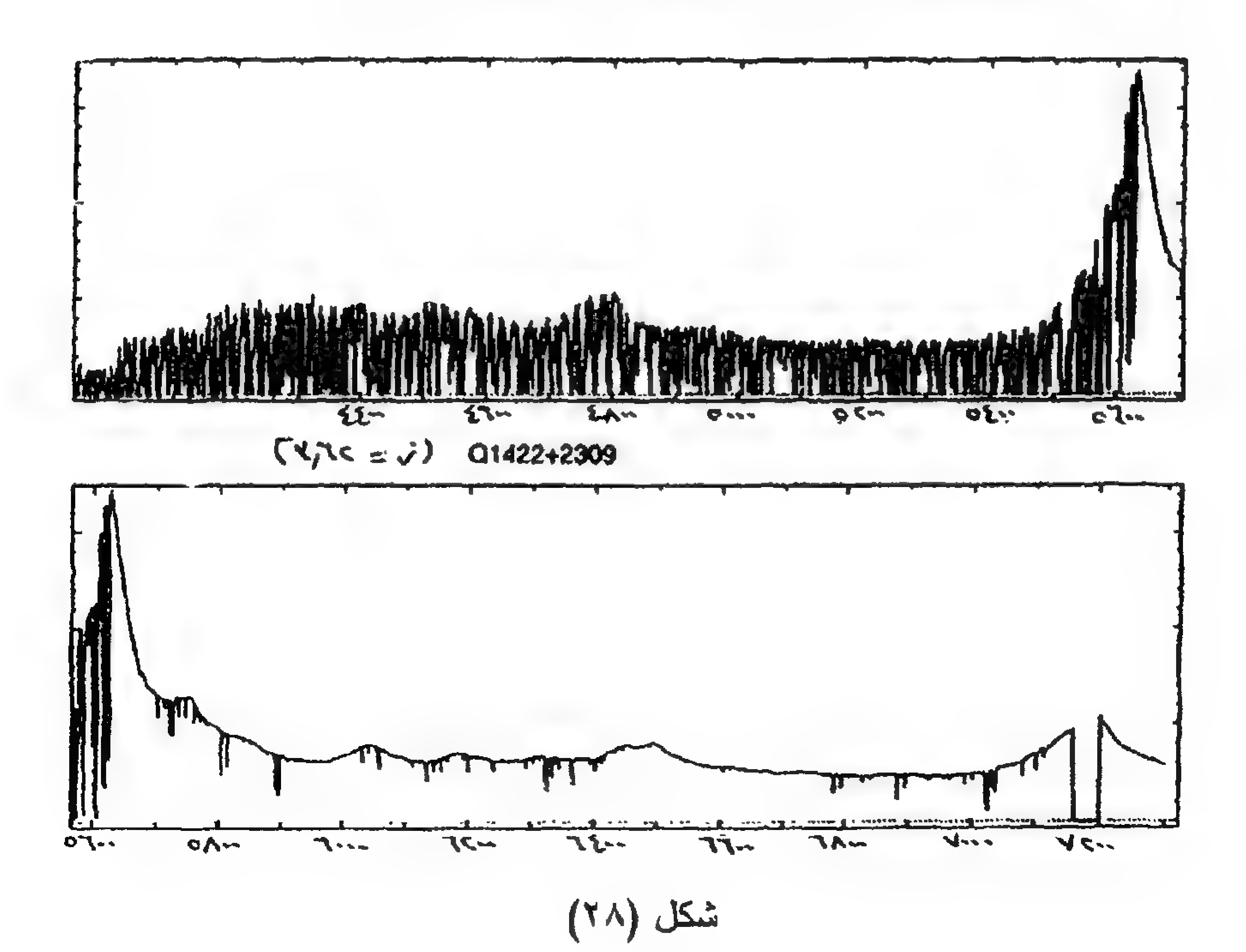
وعلى الرغم من أن أطياف الكوازارات لا تعطى إلا النزر اليسير من الدلالة على أى عتامة منتظمة يمكن نسبتها إلى وسط سلس ومتجانس بين المجرات، فإنها تكشف عن أعداد ضخمة من ملامح الامتصاص نتيجة تركزات الغاز عند انزياحات مختلفة صوب الأحمر على امتداد خط الإبصار(٧). والتقدم الذى أُحرز فى تفسير ملامح الامتصاص هذه، والذى يصوره – تخطيطا – شكل ٢٧، لم يحبطه – لحسن الطالع – ضعف استيعابنا لخواص الكوازارات الأصيلة: فالكوازار نفسه يقدم فقط الضوء الذى يصلح باعتباره أداة استشعار لظروف الوسط المتداخل. وفى حالات نادرة، بمعدل خط إبصار واحد بين كل عشرة، نعثر على خطوط امتصاص بالغة العرض والعمق، يسببها الهيدروجين المحايد HI (يد ١) بكثافات عمودية تبلغ مستوى١٠ ^٢١^سم٢. وربما يتضمن هذا مجرة ابتدائية أو قرصا مجريا ابتدائيا.



شكل (٢٧)

رسم يوضح الثراء فى المعلومات الذى يمكن أن تسفر عنه ملامح الامتصاص فى أطياف الكوزارات. يمكن أن تفرز المجرات المتداخلة خطوط امتصاص نتيجة العناصر الكيميائية المتعددة، على أن هناك بالمثل عددا كبيرا من السحب الأصغر، التى تفرز فقط امتصاص هيدروجين فى خطوط ليمان. (الرسم مقتبس من دراسة غير منشورة لاستنجلر إى).

على أن منظومات الامتصاص الأضعف أكثر شيوعا بكثير. فحتى مع وصول الكثافات العمودية للهيدروجين المحايد إلى مستوى ١٠ ^١٢^ سم ^-٢^ فإنها تنتج خط ألفا ليمان محسوسا، وتسفر أطياف الكوازارات ذات قيم (ز) العالية والمفرقة تفريقا كافيا، عن (غابة) من خطوط ألفا ليمان، وهو ما يعنى وجود عدة مئات من السحب على امتداد كل خط إبصار (انظر شكل ٢٨).



شكل (٢٨)

طيف شبه النجم Q1422+2309 ذو الحيود صوب الأحمر ز = ٣,٦٢ وكما رصده مرقب "كيك". وكل التركيب إلى الجانب الأزرق من خط انبعاث (ألفاليمان) حقيقى ويبين كيف بوسعنا الآن أن نحصل على أطياف ذات قوة تفريق عالية ونسبة عالية من الإشارة إلى الضوضاء، وهو ما يكشف الستار عن المئات -حرفيا- من خطوط الامتصاص الضعيفة فى (الغابة). (صورة الطيف بتصريح من ل.و. سارجينت).

- ويمكن رصد (غابة ليمان) هذه بصريا بين قيم حيود صوب الأحمر بين ١,٨، وأكثر من ٤,٥. وقد درست القيم الأقل للحيود نحو الأحمر والتى يجب أن تقع الخطوط بموجبها فى النطاق فوق البنفسجي من خلال تلسكوب هابل الفضائى. وتغدو (الغابة) أكثر كثافة نحو الحيودات الكبرى صوب الأحمر، مما يستدعى أن تكون السحب المناظرة أكثر اعتيادية وأقل فى درجة تأينها فى المراحل الباكرة.

والعلاقة بين السحب ذات الكثافة العمودية المنخفضة المستدل عليها، وبين المجرات أقل وضوحا. وأكثر الفرضيات جاذبية [٩٩] هى أنها نتيجة غاز ساقط فى آبار طاقة وضع ضحلة مصحوبة بتجمعات تحت مجرية من المادة السوداء (هالات بالغـــة الصغر ذات سرعة تقويمية ع ق تقع فى النطاق ٢٠- ٥٠ كم / ث)، تتطور مع الزمن الكونى طبقا لتنبؤات نموذج المادة القاتمة الباردة. وحتى إذا وصل معامل الحيود صوب الأحمر (ز) إلى ٥، فمن شأن المادة القاتمة أن تكون ذات عدم تجانس بالغ على مستوى المقاييس تحت المجرية، والغاز المتأين ضوئيا ستكون له سرعة داخلية من ١٥ إلى ٣٠ كم/ث، وسيهوى داخل آبار طاقة الوضع الجذبوية بسبب أية تكتلات من المادة القاتمة التى سرعتها التقويمية (أو سرعة إفلاتها) أكبر من هذا المقدار. وفى نموذج المادة القاتمة الباردة تحقق هذا الشرط كل الهالات شديدة الصغر التى تتكون ولها كتل تساوى ١٠ ^{٩} ك ش. أو تزيد عليها.

ومعروف أن الجزء من الغاز المحايد المتشتت عند ز < ٥ يكون -كما أكدنا سابقا- بالغ الصغر (نحو جزء من المليون). بيد أن معدل عودة الاندماج فى

منطقة بالغة الكثافة يكون أعلى، فى حين يبلغ المثل معدل التأين الضوئى بفعل خلفية الأشعة فوق البنفسجية. والجزء المحايد تبعا لهذا متناسب مع الكثافة، ومن ثم فإن كثافة الهيدروجين HI تعتمد على مربع الكثافة الكلية. وأى غاز قد استقر على حالة التوازن مع هالة المادة القاتمة الصغيرة المقومة سيكون له مائتا ضعف الكثافة المتوسطة. وستكون كثافة الهيدروجين HI تبعا لذلك أكثر من ٤×١٠^٤ مرة الكثافة المتوسطة، وسيطبع خط امتصاص (ألفا ليمان) شديد القوة على خلفية مستمرة من الإشعاع يمر خلاله.

والخطوط الضعيفة المتعددة والبعيدة لا بد وأنها بسبب الغاز الذى هو أكثف ببضع مرات من القيمة المتوسطة. ومن شأن المجال الجذبوى للهالات متناهية الصغر وغيرها من التكوينات الأولية أن يبعد هذا الغاز عن التجانس، لكن فى حالة ديناميكية أكثر من السحب المقومة سلفا.

وقد تم مؤخرا عمل محاكاة بقوى تفريق مكانية كافية لدراسة هذه الظاهرة[١٠٠]. وتظهر فى الغاز ملامح مميزة بشكل خيوط أو شعيرات مع تدفقات للغاز نحو الداخل صوب الهالات متناهية الصغر. ويبدى هذا الامتصاص المتنبأ به عبر خطوط الإبصار توافقا ممتازا مع غابة خطوط (ألفا ليمان) المرصودة فيما يتعلق بالنسبة بين أعداد الخطوط القوية والضعيفة، الخ.

والمقياس العرضى للسحب يمكن تقديره من الأمثلة التى يتعرض فيها الكوازار الخلفى للتأثير العدسى بالجاذبية والذى يحدث بفعل المجرة المتداخلة. وطيوف الامتصاص لكلا الصورتين والمناظرة لخطوط الإبصار التى تفصلها حوالى ١٠ كيلو بارسك تتشابه للغاية [١٠١]. ويضع ذلك حدا أدنى للأحجام النمطية للسحب والخيوط التى تتوافق مع معيار المقياس المتوقع والمسافات ما بين الهالات شديدة الصغر.

وتتضاءل هذه (الغابة) فى اتجاه الحيودات الأقل صوب الأحمر للعديد من الأسباب. ومن الواضح أن التمدد الإجمالى يميل إلى تخفيف (خلخلة) الغاز، ومن ثم ولمعدل تأين محدد، إلى تخفيض نسبة الهيدروجين المحايد. إلا أن التنامى المستمر للتشكيل المتكون يعقد التطور، مما يؤدى إلى تراكم مطرد للغاز فى المجرات والمنظومات على مستوى الأبعاد الكبيرة: والهالات شديدة الصغر تتشكل حيثما تستدير وتقوم تكتلات المادة القاتمة الباردة، لكن هذه الهالات تختفى عندما تندمج معا لتكون هالات أكبر ذات آبار طاقة وضع أعمق [١٠٠، ١٠٢].

وهناك أثر إضافى مهم، وهو التغير مع الحيود نحو الأحمر فى الشدة وطيف العزم الزاوى لخلفية الأشعة فوق البنفسجية Juv من الكوازارات والمجرات الصغيرة. وعند قيم الحيود صوب الأحمر ز< ٢، ولدى انقضاء حقبة الكوازارات الزمنية (انظر الفصل الرابع)، يميل العزم الزاوى للفوق بنفسجية Juv إلى الانخفاض، ومن شأن هذا أن يزيد من نسبة الجزء المحايد فى الغاز لدى قيم (ز) الأقل، بحيث يلغى -جزئيا- التأثير الأول المتوقع.

٥- ٢ الحقبة الزمنية ز> ٥

٥- ٢- ١ كيف انقضى عهد (العصور المظلمة)؟

لبضع سنوات، عرفنا عن الكوازارات ذات معامل الحيود صوب الأحمر حتى القيمة ٥، وقد يصحب الكوازارات نفسها مجرات غير نمطية (بل وحتى استثنائية)، بحيث يتعذر الربط ما بين خواصها المتميزة، والاتجاهات العامة لعملية تشكل المجرات. وما هو أكثر مدعاة للدهشة بوجه خاص عن التطورات الحديثة هو أن التكوين البنائى وتجمهر المجرات الاعتيادية يمكن حاليا استشعاره لدى قيم حيود مماثلة صوب الأحمر: إن الترابط القوى بين مرقاب هابل الفضائى ومرقاب

(كيك) قد أماط اللثام عن العديد من المجرات ذات قيمة ز> ٣. كذلك فإن ملامح الامتصاص فى أطياف الكوازار (غابة ليمان وما إليها)، تسبر تاريخ أسلوب التجمهر ودرجة الحرارة لعينة نمطية من الكون على مقياس المجرات وعلى مقاييس أصغر.

هذا التقدم فى سبر الأحداث الكونية بالعودة للوراء حتى القيمة ٥ للمعامل ز، يجلب إلى بؤرة الاهتمام بدرجة أكبر الغموض الذى يكتنف ما عساه حدث لدى القيم الأعلى من الحيود نحو الأحمر، بين المليون سنة (ز=١٠٠٠) والبليون سنة (ز=٥). وحينما ابترد الإشعاع الابتدائى إلى ما تحت بضعة آلاف درجة مطلقة، تحول إلى الناحية تحت الحمراء. عندها دخل الكون فى عهد مظلم، استدام حتى بدأ تشكل أول تكوينات محكومة[*]، فانطلقت طاقة جذبوية (أو نوع غير معروف من الطاقة) لتنير الكون من جديد. ترى لكم استمرت تلك العصور المظلمة؟ إلى أى مدى بكرت هذه التكوينات بالتشكل، وكيف كانت تبدو؟

مما نستنتجه بصورة مباشرة، المقدار التراكمى من النشاط لدى قيم الحيود الأعلى صوب الأحمر. ولا بد أن ما يكفى من الإشعاع فوق البنفسجى قد تولد بعد ز=٥، كى يتأين الوسط ما بين المجرات ويبنى العزم الزاوى لخلفية الأشعة فوق البنفسجية والتى يمكننا الاستدلال على شدتها لدى ز=٥ رأسا من النماذج فى (غابة ليمان) وما إليها. وقد يكون إجمالى ما انبعث من إشعاع فوق بنفسجى عند ز> ٥ قد تخطى بكثير هذا الحد!، فلا بد وأن الكثير منه قد فقد خلال العمليات المتكررة لإعادة التكوين فى السحب الكثيفة والامتصاص الموضعى فى مصادر الإشعاع وما إلى ذلك.

والمصدر الأكثر ترجيحا لهذا الإشعاع فوق البنفسجى هو جيل مبكر من النجوم تكون فى منظومات على مقياس صغير مقارنة بمجرات اليوم [١٠٢أ]، ربما

(*) التكوينات المحكومة هى تلك التى تترابط معا تحت تأثير واحد مشترك كالجاذبية. (المترجم)

فى هالات المادة القاتمة ، تلك الهالات شديدة الصغر ذات الكتلة فى حدود ١٠ ^٩ ك ش. (عند قيم أقل للحيود صوب الأحمر ربما تكون الكوازارات المصدر الأساسى للأشعة فوق البنفسجية، إلا أن تكونها قد يحتاج إلى منظومات مقومة ذات كتلة أكبر و آبار طاقات وضع أكثر عمقا، وربما انطلقت لذلك من نجوم باعتبارها المصدر السائد للإشعاع فوق البنفسجى لدى قيم انزياح صوب الأحمر أقل من ٥).

ولم يتأين الغاز ما بين المجرات بالضوء بشدة فحسب عند ز=٥، ولكن ملامح الأدلة على امتصاص الكربون فى أطياف أشباه النجوم تومئ إلى أن متوسط العناصر الثقيلة بلغ مستوى ١% مما تحتويه الشمس منها عندئذ [١٠٢ب]. وهذه الدرجة من(التلوث) تقارب ما يمكن توقعه إذا كانت إعادة السخونة والتأين من جراء نجوم من رتبة B&O(*) اختتمت حياتها فى هيئة مستعرات عظمى.

وربما كان خارج نطاق التقنية الحالية أن نستشعر "مجرات تحتية أو دون مجرات" منفردة، قد تحتوى كل منها فقط على بضعة آلاف من النجوم من رتبتى B&O ، بانزياح نحو الأحمر خارج نطاق ز=٥ (ولعل الأمل الوحيد يكون فى استشعار بعضها التى قد يتفق أن تكون قد كبرت من خلال التأثير العدسى الجذبوى لعنقود مجرى قريب) (**).

على أية حال ربما تسنح فرصة أكبر قليلا فى استشعار أحد النجوم عندما ينفجر متحورا إلى مستعر أعظم، فيغدو – إلى حين – أكثر سطوعا من الدون- مجرة التى يقبع فيها. وبالإمكان حساب عدد المستعرات العظمى التى قضت نحبها فى كل حيز مناظر، رأسا باعتبارها نتيجة مباشرة للمحصلة المستدل عليها من الأشعة فوق البنفسجية ومن العناصر الثقيلة: ربما كـان هنـاك مستعر واحـد، أو العديد منها فى كل سنة فى كل دقيقة قوسية مربعة من السماء. ولعلها – فى

(*) تصـنف النجـوم طبقـا لدرجة حرارة سطحها وفقا للترتيب التالى (من الأسخن للأبرد): N- R- M- K- G- F- A- B- O فالنجوم من رتبتى B&O هى أعلى النجوم حرارة. (المترجم)

(**) انظر شكل (١١). (المترجم)

المقام الأول من النوع الثانى(*): ومنحناها الضوئى -نمطيا- مسطح ذو قمة قصوى تستديم لفترة ثمانين يوما. وللمرء أن يتوقع -أخذا فى الاعتبار تباطؤ الزمن- أن يقترب المستعر الأعظم من قمته العظمى لمدى سنة تقريبا. ومن الممكن أن تستمر الانفجارات بصورة مختلفة عندما يكون الغلاف النجمى -بصورة جوهرية- خاويا من المعادن، مما يسفر عن منحنيات ضوئية مختلفة، ومن ثم فأية تقديرات لإمكانية الاستشعار هى فقط مبدئية. على أية حال، باعتبار منحنى ضوئى قياسى من النوع الثانى (وهو بالطبع توقع يتسم بالتشاؤم) يحسب الشخص أن هذه الأجرام ينبغى أن تكون ذات قدر ٢٧ فى نطاق حزمة K&J وحتى خارج نطاق ز=٥. ومن شأن مهمة استشعار الأجرام هذه أن تكون سهلة بفضل الجيل الجديد من المراقب الفضائية (١٠٢د). أما بالإمكانيات الحالية فمهمة الاستشعار جد هامشية.

وكإضافة تأملية منى ألاحظ أن نسبة ضئيلة لا تتعدى أجزاءً من المائة من شعاع جاما المرصود ينبعث ومن المعتقد أن ومضات شديدة تحتوى على التحام لمنظومة ثنائية مدمجة، أو نوع غير معتاد من السوبر نوفا يمكن أن يشع تيارا من الجسيمات (الخاضعة لنظرية النسبية) قد تأتى من انزياحات صوب الأحمر فى حدود قيمة للمعامل =٥. ويتوقع هذا إذا كان معدل الانبعاث - بوصفه دالة فى الحقبة الكونية - يقتفى أثر معدل تشكل النجم. وفى وقت تدوين هذه الكلمات، ما زالت بياناتنا عـن التوهجات البصرية وبالأشعة السينية التالية جد شحيحة. لكن هناك - على الأقل - إمكانية مثيرة للشغف لوجود ومضات عارضة، تفوق فى سطوعها المستعر الأعظم من حيودات حمراء كبيرة للغاية.

(*) تصنف المستعرات العظمى (السوبر نوفا) نمطيا إلى نوعين: النوع الأول وهى التى فقدت غلافها الهيدروجينى فلا يوجد فى أطيافها أثر للهيدروجين (كالأقزام البيضاء) والنوع الثانى التى يوجد بأطيافها هيدروجين، وهى تمثل نهاية حياة نجم عملاق عن طريق انهياره بالجاذبية. (المترجم)

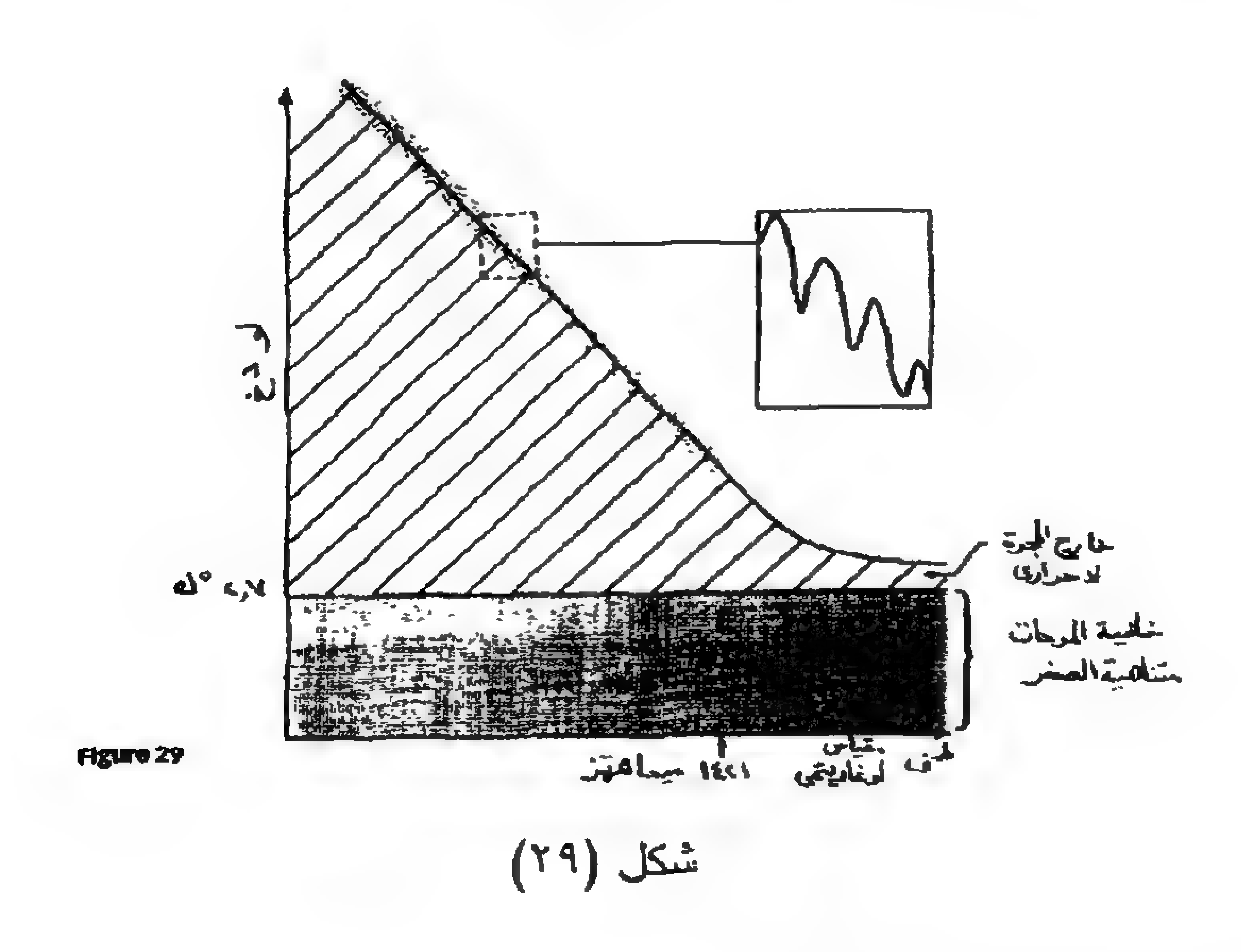
٥-٢-٢ متى بدأت عملية إعادة التسخين؟

فى الدراسات حول نظريات نشأة الكون مثل نموذج "المادة القاتمة الباردة" القياسى، ليس من المحتمل أن تكون عملية عودة السخونة إلى الوسط ما بين المجرات من جديد قد بدأت قبل حقبة ز=٢٠ بكثير. على أية حال، فإن هناك نماذج نظرية أخرى (يرجى الرجوع إلى العمود الثالث فى شكل ١٣)، تفترض أن أول ضوء قد بزغ فى وقت أكثر تبكيرا، ومن المتصور أنه كان هناك مدخول حرارى مبكر - من الجسيمات المتحللة مثلا- [١٠٣]. وما لم تكتشف كوازارات ومجرات وأجرام كونية أخرى لدى قيم للحيود للأحمر أعلى بكثير من المرصود حاليا، فستبقى معلوماتنا- للأسف- مقصورة فيما يختص ببداية الاحترار أو بدء انبثاق الإشعاع المحدث للتأين.

ولحقبة عودة السخونة هذه أهميتها فى تفسيرات التقلبات الزاوية فى خلفية الموجات الميكرونية [١٢، ٦٣، ١٠٤]. ولقد افترضت - ضمنيا - فى الفصل الثالث (بند ٣- ٥) أن هناك احتمالا ضئيلا لتشتت الفوتون أو استطارته فى الفترة ما بين مرحلة عودة الاندماج والآن: وتخبرنا قياسات خلفية الموجات الميكرونية آنئذ عن تقلبات طاقة الوضع الجذبوية، وتأثيرات دوبلر على سطح التشتت الأخير لدى قيمة ز=١٠٠٠. ولو تم التعرف -بغتة- على الوسط عند حيود للأحمر قيمته ز١ مثلا، فإن العمق الاختيارى عند ز١ من جراء تشتت الإلكترون والذى يتناسب مع الدالة [((١+ز١)/٢)^−٣/٢ – ١] ى ـ هـ ـ.٥، قد يزيد عن ٠,٢ أو يساويها تقريبا إذا كانت ز١ أكبر من ٢٠ أو تساويها. ومن شأن ذلك أن يؤثر فى تأويلنا للتقلبات الزاوية فى خلفية الموجات الميكرونية. وعلى وجه الخصوص فالتقلبات على المقياس الزاوى أقل من ٥ درجات •وهى قيمة مصيرية لاستشعار التقلبات على مستوى المقاييس المناظرة للعناقيد المجرية وما فوق العناقيد وللتفرقة بين النماذج الكونية المختلفة) من شأنها أن تضعف قياسا على التقلبات مع الزاويا الكبيرة. والتشتت لدى قيم ز التى تقل عن ز١ سينعكس أثره على التقلبات الثانوية (مع استقطاب واضح مميز) لإشعاع الخلفية.

٥- ٢- ٣ الهيدروجين المحايد ما وراء ز=٥

هناك تقنية طريفة يمكننا بها استكشاف انتشار الهيدروجين المحايد لدى قيم المعامل ز الأعلى من ٥، ومن ثم استشعار التكوينات ذات الأحياز الكبيرة ما قبل اضطرام النجوم والكوازارات الأولى وتسخينها أو (إدفائها) مادة الكون المبكر. وتعتمد هذه التقنية على دراسة خط الـ ٢١ سم للهيدروجين الذرى المنتشر. فباعتبار درجة حرارة اللمعان، يسهم هذا الخط بدرجة أقل من إسهام خلفية الموجات الميكرونية -ودرجة حرارتها ٢,٧° مطلقة- وبالمثل يقل إسهام هذا الخط عن خلفية الموجات نتيجة للانبعاث السينكروتروني (*)من المصادر الراديوية من خارج المجرات. ومهما يكن من أمر فلعل من الممكن التوصل إلى نسبة مساهمة الخط ذى الطول ٢١ سم، نظرا لتكوينه الزاوى المتميز والمقرون بتكوين دقيق فى فراغ التنبذب (انظر شكل ٢٩) والشرح المقترن به).



شكل (٢٩)

(*) أى إشعاع فلكى من الإلكترونات، والسينكروترون أصلا هو معجل للجسيمات المشحونة فى مدار دائرى متزامن مع المجال المغناطيسى. (المترجم)

الخلفيات السائدة خارج التجمعات المجرية فى الحزم الردايوية هى إشعاع الجسم الأسود عند درجة حرارة ٢,٧ على مقياس كلفن (وهو الإشعاع المتبقى من حقبة الكون الأولى)، وخلفية السينكروترون اللاحرارى والتى تتناسب درجة لمعانها مع $ط_{ن}^{-٢,٧}$. وعند معامل حيود (ز) أكبر من ٥ قد يكون الغاز الموجود بين المجرات أساسا هو الهيدروجين المحايد. وإذا كان الأمر كذلك فإن الهيدروجين المحايد ذا القيمة العالية للمعامل ز، ينطلق و/ أو يمتص من خلال تزحزح خط ٢١ سم، وبالتبعية يغير درجة حرارة الخلفية. ورغم أن هذا التأثير من الضآلة بحيث يصعب استشعاره إذا كان الهيدروجين المحايد موزعا توزيعا متجانسا، فإن تكتلات الغاز فى عناقيد من شأنه أن يخلق تكونا طيفيا وزاويًا فى الخلفية. وبالمسح الزاوى باستعمال نطاق ضيق من الترددات فإن التكوينات فى الهيدروجين المحايد ذى قيم (ز) المرتفعة يمكن استشعارها. وبمقارنة التكوينات الزاوية التى تشاهد فى خريطتين مرسومتين لدى تذبذبين مختلفين اختلافا طفيفا، يمكن للمرء أن يميز بين التأثيرات الناجمة عن المصادر المتفردة المنفصلة المحددة غير الحرارية (والتى قد تربط بين الخريطتن)، وبين تلك التأثيرات الناجمة عن الهيدروجين المحايد (حيث لا ترابط بين الخريطتين).

ويسهل حساب الإسهام فى درجة حرارة الخلفية الراديوية لدى ١٤٢٠ $(١+ز)^{-١}$ ميجاهيرتز نتيجة لتوزيع الهيدروجين المحايد المنتظم، لحيود نحو الأحمر مقداره ز من العلاقة: $د_{HI} \approx ٠,١ \, (١+ز)^{١/٢} \, ى_{HI}$ ف درجة كلفن (٤).

ويعتمد المعامل ف على درجة حرارة التدويم spin temperature(*) $ح_{ى}$(٤)، والتى يجرى تحديدها بتوفيق معامل بولتزمان مع التجمهرات النسبية للحالتين فائقتى الدقة.

(*) هى درجة حرارة تعبر عن درجة حرارة الهيدروجين المحايد فى الفضاء بدلالة حالتى تدويم إلكتروناته المحتملين (إما فى نفس اتجاه تدويم البروتون أو فى عكسه). (المترجم)

والمعامل ف يعادل الواحد الصحيح إذا تخطت درجة حرارة التدويم درجة حرارة الإشعاع (ولو لم يكن هناك مدخول من الحرارة على الإطلاق إلى الغاز الأولى قبل الحقبة المناظرة، لكانت درجة الحرارة الحركية[*] – وبالتالى درجة حرارة التدويم كذلك – أقل من درجة حرارة الإشعاع، ولظهر الغاز كامتصاص على خلفية من إشعاع الجسم الأسود، وتبلغ قيمة ف حينذاك $\frac{-2.7(1+ج)}{د}$ ولو كان لأية منطقة على مدى امتداد خط الإبصار كثافة أعلى من المتوسّط، أو لو تمدد بمعدل أقل من متوسط معدل هابل، لتعزز إسهام خط الـ ٢١ سم. وللتقلبات الخطية فإن التعزيز الجزئى = ٣/° $\frac{\Delta ث}{ث}$ والمقدار ٣/٢ الإضافى يأتى من تقلص معدل التمدد مع اضطراب متعاظم عالى الكثافة، والذى يزيد أكثر من كثافة الهيدروجين العمودية لكل وحدة من مسافات الحيود الأحمر البينية، ويمكن أن تنجم عن عدم انتظام التسخين الذى يؤدى إلى اختلافات موضعية فى < ى، تأثيرات يمكن رصدها حتى إذا كانت الكثافة منتظمة.

وعدم التجانس فى الهيدروجين المحايد –على الأحياز الكبيرة لدى الحيودات الحمراء العالية يخلق تكوينا زاويا وطيفيا فى الخلفية الراديوية. ورغم أن المعادلة (٤) تقتضى أن يكون عدم التجانس هذا قليلا مقارنة بالخلفية الراديوية الإجمالية المتصلة،. فإنه يمكن استشعاره من خلال الاختلاف فى القياسات، التى تربط ما بين الترددات القريبة والاتجاهات. والتكوين الدقيق المتوقع فى فضاء الترددات من شأنه أن يميز إشارة الهيدروجين المحايد عن تلك الناجمة عن "التبقيع" فى خلفية السينكروترون غير الحرارية (أو فى حقيقة الأمر من التذبذات الزاوية فى خلفية الموجات الميكرونية، رغم أن هذه التذبذبات أصغر حتى من أن تستشعر عند هذه الذبذبات الراديوية المنخفضة نسبيا).

(*) درجة الحرارة الحركية: Kinetic temp هى درجة حرارة تعبر عن متوسط الطاقة الحركية للغاز، وهى دالة فى ثابت بولتزمان وكتلة الجسيم وسرعته. (المترجم)

والأمل فى هذا النوع من الاستشكاف بالرسم السطحى (صورة مفصلة بالأشعة لقطاع مستومعين) للعناقيد المجرية الأولى، معقود حقا على المرقب الراديوى العملاق للموجات المترية (Giant metre- wave radio telescope) الذى بناه سواروب swarup ومساعدوه بالهند[١٠٦]. فهذا الجهاز عند استكماله سيتكون من مصفوفة من ٣٤ طبقا يبلغ قطر كل منها ٤٥ مترا. والأطباق- وإن تكن غير مجهزة السطح جيدا لتصبح ذات فاعلية لدى الترددات العالية، إلا أن المصفوفة ستكون ذات حساسية تفوق بثمانية أضعاف حساسية المصفوفة بالغة الكبر very large array (VLA) لدى تردد ٣٢٧ ميجاهيرتز. وسيعمل أيضا عند نطاق ١٥٠- ٢٥٠ ميجاهيرتز، حيث تنخفض بوجه خاص الخلفية الراديوية الصناعية، وتحديدًا فى المواقع النائية للمرقب الردايوى العملاق ويناظر ذاك حيودا نحو الأحمر يتراوح ما بين ٦، ٨,٥ لخط ال ٢١ سنتيمترا. وقد صممم المرقب الراديوى هذا بحساسية تتيح استشعار العناقيد المجرية الأولية، إذا كانت لها الخواص التى تنبأت بها بعض النظريات. وتجهز حاليا خطط جادة لتنفيذ "مصفوفة كيلومترية مربعة" لها حساسية استشكاف خط ال ٢١ سم بالرسم السطحى، تفصيليا.

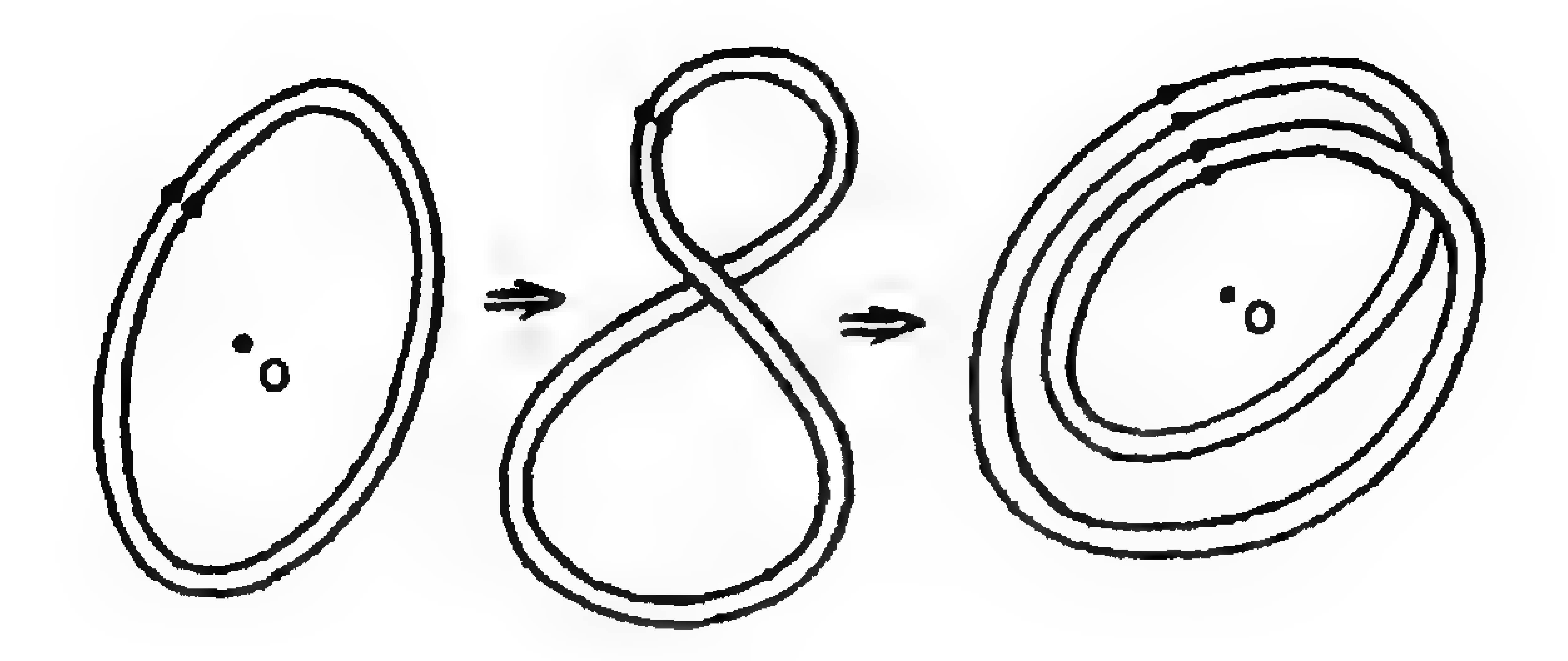
٥-٣ المجالات المغناطيسية:

٥- ٣- ١ "بذور" المجالات الابتدائية:

تتخلل المجالات المغناطيسية المجرات بل وحتى عناقيد المجرات [١٠٧]، ولها تأثيراتها واسعة النطاق على عمليات ديناميكيات الغاز والإشعاع. ولعل الفضل فى قوتها الحالية يعود إلى التكبير الحادث فى فاعليتها[*]، حيث تتحول طاقة

(*) الفاعلية أو المفعّل dynamo: يقصد بها هنا النشاط فى وسط مائع fluid موصل للكهرباء، الذى يولد تيارًا كهربائيا ومجالا مغناطيسيا. ومن المعتقد أن الفاعلية فى البلازما فى طبقات الشمس الخارجية، وفى لب ودثار الأرض والكواكب الأخرى هى التى تسبب التأثير المغناطيسى لهذه الأجرام. (المترجم)

الحركة – بنسق منتظم – إلى طاقة مغناطيسية[١٠٨]. ويوضح شكل (٣٠) كيف يمكن أن تدعم الحركات الالتوائية، عروات الفيض المغناطيسي.



شكل (٣٠)

نموذج كينماتيكي مفرد (الزيلدوفيتش) يبين كيف يمكن أن يجرى تكبير الفيض المغناطسيي بزيادة فاعليته بانتظام، إذا تمددت العروات المغناطيسية ثم التوت طبقا للولبية ملائمة.

ووجود هذه العروات لا يمنع حتمية وجود (بذرة) ابتدائية للمجال المغناطيسي (وإلا لما وجدت عملية التفعيل شيئا (تتغذى) عليه، ويلوح أن حتمية وجود (بذرة) المجال المغناطيسي هذه مسلم بها على وجه العموم. وفي العديد من قضايا الفيزياء الفلكية يكون لهذه الثقة ما يبررها: وإذا كان المقياس الزمنى الديناميكى (والتكبير) قصيرا القصر الكافى، فقد يتولد عدد ضخم من الطيات. وربما يكفى لذلك تذبذبات إحصائية متناهية الصغر فحسب. علـــى أن المجـــالات – على المقياس الكبير – فى المجرات القرصية يلوح أنها تطرح مشكلة أوقع فى خطورتها. فمقياس التكبير الزمنى – من رتبة المقياس الزمنى للدوران فى المدار قد يصل إلى ٢×١٠ ^٨ عام. وحتى فى الحقبة الزمنية الراهنة لم يتح الوقت سوى

لحدوث ٥٠ طية. وليس بمقدور المجال المجرى – بناءً على ذلك – أن يتعاظم ليصل إلى قوته التى نرصدها فى يومنا هذا، إلا إذا كانت (بذرة المجال) من رتبة ١٠ $^{-٢٠}$ جاوس، أى شديدة الضعف، وإن لم تكن لانهائية الصغر. علاوة على ذلك، إذا اتضح أن مجالات ذات وزن وجدت حتى بالمجرات ذات قيم (ز) عالية، والتى لم تتشكل أقراصها إلا حديثا، فمن شأن (البذرة) أن تحتاج لأن تكون أكبر بالتبعية.

ومسألة مدى السرعة التى اكتسبت بها المجالات الكونية قوتها، ذات صلة وثيقة بنواح عديدة لتشكل المجرة وتطورها. فلو لم يكن هناك مجال مغناطيسى، لتدرج تكون النجوم على نحو مختلف، سواء فيما يتعلق بمعدله، أو بتوزيع الكتل النجمية: فالمجال يعدل كتلة جينthe jeans mass (*).، ويساعد النجوم الأولية التى على شفا الانهيار، على أن تطرح العزم الزاوى جانبا (١٠٩) وليس بوسعنا أن نأمل فى وضع نموذج مُرضٍ ومقنع للتطور المجرى دون الإلمام بتوقيت تنامى المجال حتى يصل إلى قوة ذات أثر– من الناحية الديناميكية. (علاوة على ذلك، فقد يكون حتى لمجال أضعف تأثير ذو وزن من خلال تأثيره على التوصيلية الحرارية وغيرها). وإذا انقضت أزمنة عدة دورات مجرية قبل أن تتنامى للمجال قوة محسوسة ديناميكيا، فقد يكون للنجوم الأكبر سنا– لهذا السبب فقط– توزيع مختلف لكتلها. وبالمثل يتوافر السبب كى نعتقد فى أن غياب المجال المغناطيسى يؤثر على الكتل النجمية– مثلما نعتقد أن الافتقار إلى العناصر الثقيلة (والتى تؤثر فى التبريد وفى درجة العتامة) يفعل المثل، رغم أن الطبيعة الكمية لهذا التأثير غير يقينية فى الحالتين كلتيهما.

(*) كتلة جينز jeans mass: هى مقدار حرج إذا تجاوزته كتلة السحابة الغازية دخلت فى عملية من التقلص الخارج عن نطاق السيطرة حتى تتدخل قوة أخرى فتوقف هذا التقلص، وهذه الكتلة الحرجة دالة فى الكثافة ودرجة الحرارة ويعود الاسم للفيزيائى البريطانى جيمس جينز الذى درس عملية الانهيار الجذبوى للسحابة الغازية. (المترجم)

ترى.. هل نشأ المجال المغناطيسى فى المراحل المبكرة من "الانفجار الأعظم".[١١٠] ؟ ربما مر الكون المبكر جدا بمرحلة انتقالية بين طورين phases مختلفين، وربما خلق هذا التحول الطورى -ذاتيا- المجال المغناطيسى- مثلما يحدث عند تبريد مادة فيرومغناطيسية(*)- ولأن الفيزياء المناظرة لذلك غير مألوفة لنا وتشح معارفنا عنها، فليس باستطاعتنا استبعاد هذا الاحتمال. ومهما يكن الأمر فإن مقياس العلاقة الطبيعية سيقتصر على المقياس (س×ن) المحدود بأفق الجسيمات، ويحد ذلك بشدة من نطاق النماذج النظرية. هب -لدى زمن مبكر للغاية (ن)- أن عملية فيزيائية ما تولد مجالا على مقياس أصغر من مقياس الأفق لدى الزمن "ن"، وأن شدة هذا المجال (غ) بحيث أن غ ٢÷٨ η= ف (أ د٤)، حيث ف تقل عن الوحدة، وأن الكون بالتبعية يتمدد طبقا لمعادلات فريدمان المعتادة (أى بتباطؤ). (من الجائز وضع هذا الافتراض لأن المجال، وكذلك الإشعاع الخلفى من شأنه أن يتولد بعد اكتمال أى طور انتفاخي ومن شأن كل مجال مغناطيسى قبل الانتفاخ أن يتناقص بمعدل أسي. وعندئذ وعلى المقياس الكونى نتوقع مجالا متسقا مع كثافة الطاقة:

∈(للمجال) = ف(أ د٤)(الكتلة داخل الأفق عندما يتولد المجال÷كتلة المجرة) (٥).

ولبذرة مجال مقدارها ١٠ -٢٠ جاوس، تبلغ كثافة الطاقة ١٠-٢٩ (أ د٤). ولكن إذا كان الانتقال الذى ولد المجال قد حدث خلال حقبة النظرية الموحدة الكبرى(**) GUT ،عندما كان الأفق كبيرا كبرا كافيا كى يشتمل على نحو ١٠ ٤ باريون)، فالنسبة فى الحد بين القوسين فى المعادلة (٥) من الرتبة ١٠ -٦٥! وهكذا حتى لو كان للمجال كثافة طاقة موضعية مرتفعة (ولم تكن ف صغيرة للغاية)، فمن

(*) عند درجة حرارة معينة يحدث لمعدن الحديد تحول فيزيائى من الحالة الفيرومغناطيسية (التى يجذب فيها المغناطيس) إلى الحالة البارامغناطيسية ولا ينجذب للمغناطيس فيها) وتسمى هذه الدرجة بنقطة كورى (568 م). (المترجم)

(**) هى حقبة استمرت من ١٠ إلى ٣٨ ثانية فى أعقاب الانفجار الأعظم وعندها انفصلت القوى الشديدة عن بقية القوى. (المترجم)

شأنه – على مثل هذه المقاييس الصغيرة أساسا أن يضمحل بسرعة، ولن يكون هناك فرصة للوصول حتى للقيمة ١٠ ⁻²⁰ جاوس على مقياس مجرة أولية (ابتدائية). ويمثل هذا مشكلة شاملة عمومية، تنسب الأصل الكونى إلى مجال، حتى وإن أمكن وجود آلية ميكرو فيزيائية مقنعة. (وبطبيعة الحال يمكن تخطى هذه المشكلة لو كان هناك عدم تجانس فى كل الاتجاهات، يعم الكون بمجمله).

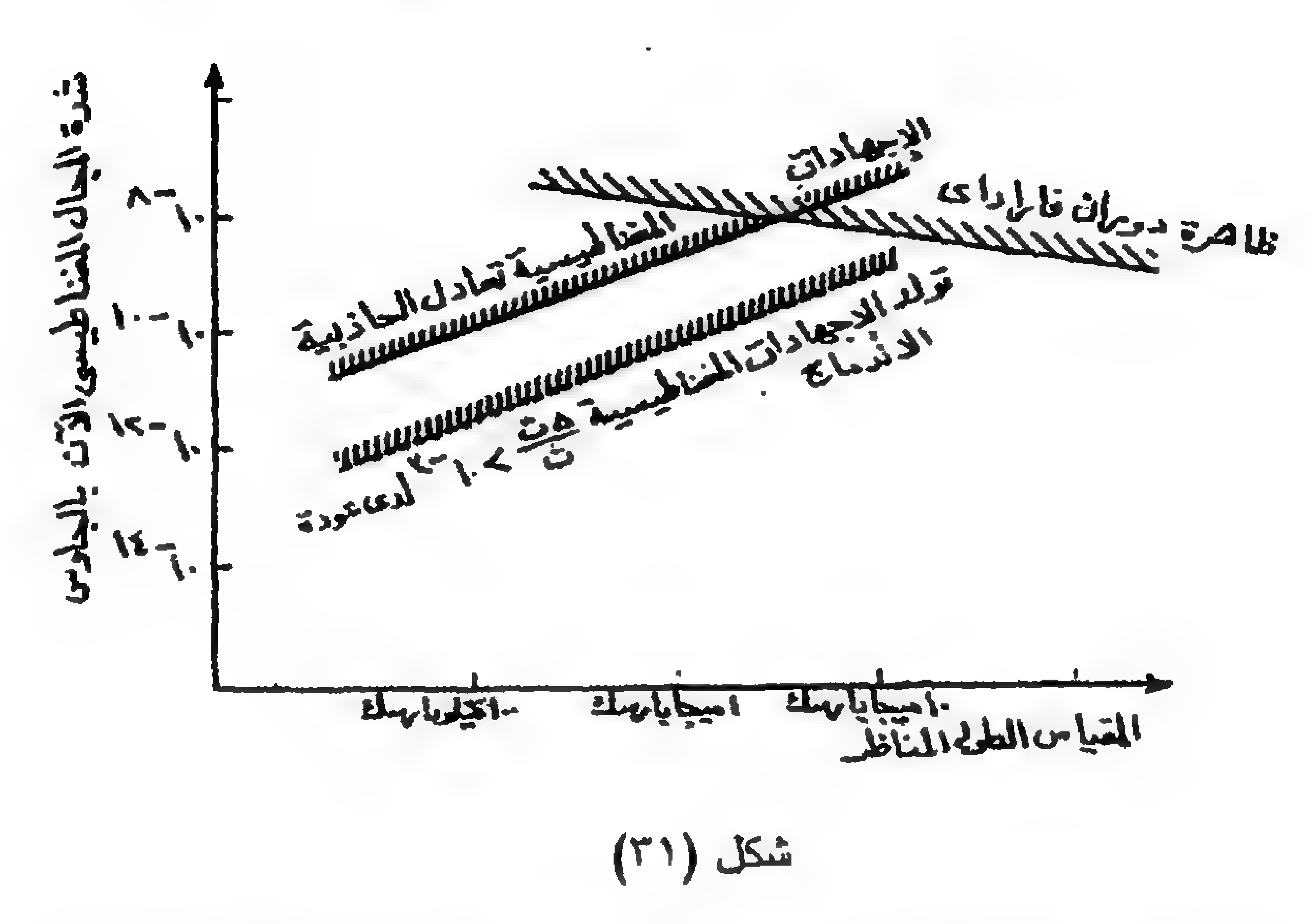
ولعله مما يجدر ذكره – عرضا – كيف يمكن أن يؤثر هذا المجال الابتدائى، ذلك الذى وجد فى حقبة عودة الاندماج الأولية، على العمليات الكونية. ويلخص شكل ٣٠ محددات ذلك بدلالة مقياس الطول المميز للمجال. فمجال ذو قوة مناظرة بلغت فى وقت ما ٤×١٠ ⁻¹⁰ ى ب جاوس (حيث ىب هى الجزء الخاص بالباريونات فى الكثافة الكونية الحرجة) من شأنه – لدى عودة الاندماج – وكذلك فى كل الحقبة الزمنية التالية وحتى حدوث التسخين لمرة ثانية، أن يسهم بتأثير أكبر من نصيب الباريونات والإلكترونات. ومن شأنه -تبعا لذلك) أن يمارس تأثيرا على كتلة جينز، ويرفع من مقدار الحد الأدنى من كتلة الجيل الأول من المنظومات المحكومة المتوقعة فى كل النماذج (الهرمية) لتنامى التكوين الكونى. وعلاوة على ذلك، فحتى المجال بالغ الضعف، والأضعف من أن يؤثر فى كتلة جينز، ما زالت له أهميته على المستوى الكونى. ويرجع هذا إلى أن مجالا ذا مقياس نوعى مقداره ل سيحدث حركات (بسبب الإجهادات غير المتجانسة) فى مثل سرعة ألففين(*) Alfven speed على نفس هذه المقاييس الصغيرة.

وأى اضطرابات ناتجة فى الكثافة تجاوزت سعة ذبذبتها لدى ن ع (زمن عودة الاندماج) القيمة ٠,٠٠١ ستصبح غير خطية من جراء عدم الاستقرار الجذبوى المعتاد، فى الحقبة الراهنة. وبذلك فحتى مجال بين المجرات لا يزيد عن

(*) يقصد بها سرعة الموجات المغناطيسية فى أثناء انتقالها خلال الموائع الموصلة للكهرباء كالغاز المتأين فى مجال مغناطيسى. (المترجم)

مرتبة ١٠ $^{-١٣}$ جاوس سيكون –على المستوى الكونى– ذا وزن إذا كان يعود زمنيا إلى حقبة ما قبل عودة الاندماج.

والمحددات الحالية للمجال ما بين المجرات تأتى من الحدود العليا لدوران فاراداى[*] ما بين المجرات intergalactic Faraday rotation . وتعتمد هذه المحددات على طول المجال المناظر، ويصورها بشكل تخطيطى شكل (٣١).



شكل (٣١)

العوامل المحددة للمجال المغناطيسى لمقاييس الطولية المختلفة عند زمن إعادة الاندماج (ن ع) وللمجال أهميته من ناحية تفسير نشأة الكون إذا أمكنه أن

(*) ظاهرة فاراداى الدورانية Faraday rotation: يقصد بها استدارة مستوى الاستقطاب للموجات الكهرومغناطيسية فى أثناء مرورها فى مادة ممغنطة. وفى المجال الفلكى تلعب هذه الظاهرة دورا أساسيا فى تعيين المجال المغناطيسى للمادة ما بين النجوم. وفى ذلك يتم رصد مستوى الاستقطاب عند مرور نبذبات راديوية خطية الاستقطاب خلال مادة ما بين النجوم. وتعتمد زاوية الدوران على شدة المجال المغناطيسى للإشعاع فى اتجاه انتشار الموجات، وسبب هذه الظاهرة وجود المجال المغناطيسى وإلكترونات حرة فى المجال الذى يمر به الإشعاع (الموسوعة الفلكية – ١٩٩٠).

يولد اضطرابات فى الكثافة ذات سعة تساوى تقريبا 10^{-3} عند زمن إعادة الاندماج، فمن شأن هذه الاضطرابات أن تتطور إلى منظومات محكومة بالجاذبية فى وقتنا الراهن. والنص يحتوى على شرح أكثر تفسيلا.

٥- ٣- ٢ حاشدات (بطاريات) المجرات الابتدائية(*)

لو لم يكن هناك مجال محسوس ذو بال فى الزمن الكونى البدائى فلا بد وأن (بذور) تفعيل التضخيم كانت قد ولدت عن طريق آلية توليدية، وهو ما يستدعى دوامية(**) ما vorticity على مقياس كبير. ولو لم تكن الاضطرابات الأولية قابلة للحركة الدائرية، كما هو الحال فى أغلب النماذج، فمن شأن هذا أن ينتظر علاقات غير خطية تؤدى إلى موجات صدمية، أو إلى تشكل منظومات محكومة تبذل

(*) هناك مجموعتان من النظريات فيما يختص بتفسير الأصل فى وجود المجال المغناطيسى المرصود الآن على أسطح العديد من النجوم: فإما أن يكون هذا المجال ميراثا من حقبة مبكرة، وإما أن يكون قد تولد (ربما من مجال ضئيل للغاية كان بمثابة البذرة داخل النجم ذاته فى خلال مرحلته التطورية الحالية).. ويطلق على المجموعة الأولى من هذه النظريات (نظريات الأحافير)، أما المجموعة الثانية فتشمل نظريات المفعل (dynamo)/ والحاشدة (battery) ونظرية عدم الاستقرار الثرمو مغناطيسى (ولا تبدو أى من هذه النظريات بمفردها كافية لتفسير ظاهرة المغناطيسية فى النجوم ذات مراحل التطور المختلفة. وتنص نظرية المفعل على أن مجالا أصليا صغيرا إذا غمس فى مائع موصل فإنه يتضخم نتيجة حركة المائع ويزيد كثيرا عن (البذرة) الأصلية، ويعتبر الكثيرون أن نظرية (المفعل) هى المسئولة عن مجال شمسنا المغناطيسى وكذلك غيرها من نجوم التتابع الرئيسى (وهى مالا يمكن تطبيق نظرية الأحافير عليها). وتنص نظرية الحاشدة على أن الذرات تتأين- تحت الظروف النجمية- فتتواجد إلكترونات طليقة، ونظرا للفرق فى قوى التجاذب بالنسبة للإلكترونات والأيونات الموجبة، يتولد مجال كهربى ذو تموج صفر (zero curl، ولا يوجد بالتالى مجال مغناطيسى، وهى حالة النجم المنتظم المتجانس كيميائيا. أما فى حالة النجم غير المتجانس كيميائيا، فلا يكون المجال الكهربى صفرى التموج، وإنما يتولد مجال مغناطيسى. ويصعب أن يعزى إلى آلية الحاشدة وحدها السبب فى المجال المغناطيسى فى النجوم غير المتجانسة كيميائيا، على أن هذه الآلية تولد مجالا بذوريا (أى بذرة مجال) تؤدى إلى نشوء آلية المفعل السابق ذكرها.(المترجم)

(**) يقصد بالدوامية vorticity ميل المائع للحركة الدورانية فى شكل دوامة. (المترجم)

عزوما مدية على بعضها بعض. وسحب كومبتون(*) Compton drag والذى يتوقف على كثافة طاقة الإشعاع الخلفى (ومن ثم يكون أكثر فعالية لدى قيم (ز) العالية، يمكنه أن ينمى بالتدريج تيارا فى المجرة الأولية الدوارة، فإذا تحركت البلازما بسرعة ع بالنسبة للإطار الذى تتجانس فيه خلفية الموجات الميكرونية فى كل الاتجاهات، فمن شأن حركتها أن تضعف وتهمد على مقياس زمنى يساوى كب÷كز. نى، حيث ن ى = كز.س÷أ د[٤] ، وهو المقياس الزمنى لتبريد كومبتون المعتاد للإلكترونات. ولمزاوجة الإلكترونات بالأيونات، يلزم مجال كهربى بقوة كز. ع÷هـ. نى، كى يحافظ على نفسه فى البلازما. ومن شأن مجرة أولية ذات نصف قطر نق، تدور بسرعة ع أن تتكبح باطراد بتأثير سحب كومبتون، وسينمى مجال كهربى داخلها (بالتواء curl لاصفرى بطبيعة الحال) مجالا مغناطيسيا بمعدل (كز س[٢] ن÷هـ نى)= ع÷ نق. ولدى حيود أقل شطر الأحمر، حيث لا تبترد الإلكترونات المصدومة، تكون عملية (الحاشدة) الحرارية أكثر فاعلية نوعا ما. ولكن لا يمكن لأى من هذه العمليات أن تغل أكثر من حوالى ١٠ $^{-٢٠}$ جاوس على مقياس مجرة أولية، وهو ما يؤذن بضعفها.

٥-٣-٣ المجال المغناطيسى من النجوم الأولى:

تبدأ النجوم الأولية، المتكاثفة من الوسط ما بين النجوم فى يومنا هذا، تبدأ بمجال مغناطيسى قوى للغاية، أكثر من كونه قليلا جدا. وينبغى أن ينتشر المجال للخارج، ربما عن طريق العملية المعروفة بالانتشار فى اتجاهين فى ذات الوقت ambipolar diffusion[١١١]. على أن المجال فى المرحلة الأخيرة من عمر النجم قد لا يكون شديد التأثر بذات الظروف التى ولد فيها. وحتى لو كان المجال -فى البداية- منعدما، فإن آليات (الحاشدة) والتى ناقشها بيرمان [١١٢] (والتى هى أكثر فاعلية وسرعة من آليات

(*) تأثير كومبتون هو التغير فى شدة الأشعة الكونية نتيجة دوران المجرة.

(الحاشدة) عن طريق تأثير (سحب) كومبتون على المقياس المجرى لصغر المقاييس فى حالة النجوم المفردة) يمكنها أن تولد مجالا بنوريا، يمكن أن تعمل من خلاله على تضخيم النشاط الفعال dynamo بعدة أضعاف من المعامل(*) هـ e إذا اقتضت الضرورة. وإذا انفجر مثل هذا النجم متحورا إلى مستعر أعظم، فإن رياحا دوامية من بقايا النابض قد تجتاح الفضاء وتتخلله لعدة بارسكات مكعبة بمجال من الرتبة ١٠ ^-٤^ جاوس (تماما كما فى سديم السرطان crab) [١١٣]. ومن ثم فإن بضعة من المستعرات العظمى الأولى والمتوقع أنها انفجرت عند قيمة ز أكبر من ٥ (انظر بند ٥- ١) تكون قد ولدت مجالا واهنا فى غاز المجرات الأولية، حتى لو لم تفعل ذلك سلفا آليات (الحاشدة) على المقياس الكبير.

٥- ٣- ٤ نوى المجرات النشطة والفصوص (النتوءات الراديوية):

للمجرة الراديوية 4C41.17 فصوص راديوية يصل حيزها إلى ٣٠ كيلوبارسك، [١١٤] تحتوى على مجالات منسقة من الرتبة ١٠ ^-٥^ جاوس، وهو ما يقتضى فيضا من الرتبة ١٠ ^٤١^ جاوس. سم^٢^. ومعامل انزياحها صوب الأحمر يبلغ ٣,٨، وهو ما يناظر حقبة كونية عندما كان الكون (إذا ما وصفناه طبقا لنموذج آينشتاين- دى سيتر) فى عُشر عمره الحالى.

وربما تكون المجرات الراديوية مثل المجرة 4C41.17 قد تكونت بصورة استثنائية فى وقت مبكر، عندما كان تشكل المجرات النمطية (وعلى وجه خاص تلك ذات الأقراص منها) لم يقع بعد. وكان من شأن المجالات فى نتوءات المجرات الراديوية أن تتولد فى النوى النشطة للمجرات المناظرة وتتدفق عبر نفثات متوازية (تتشابه مع بديل مضخم من رياح النجوم النابضة، وفقا للنظرية النسبية التى تولد مجال سديم السرطان). وهكذا، يمكن لمجال مجرة راديوى، مثل ذلك الموجود

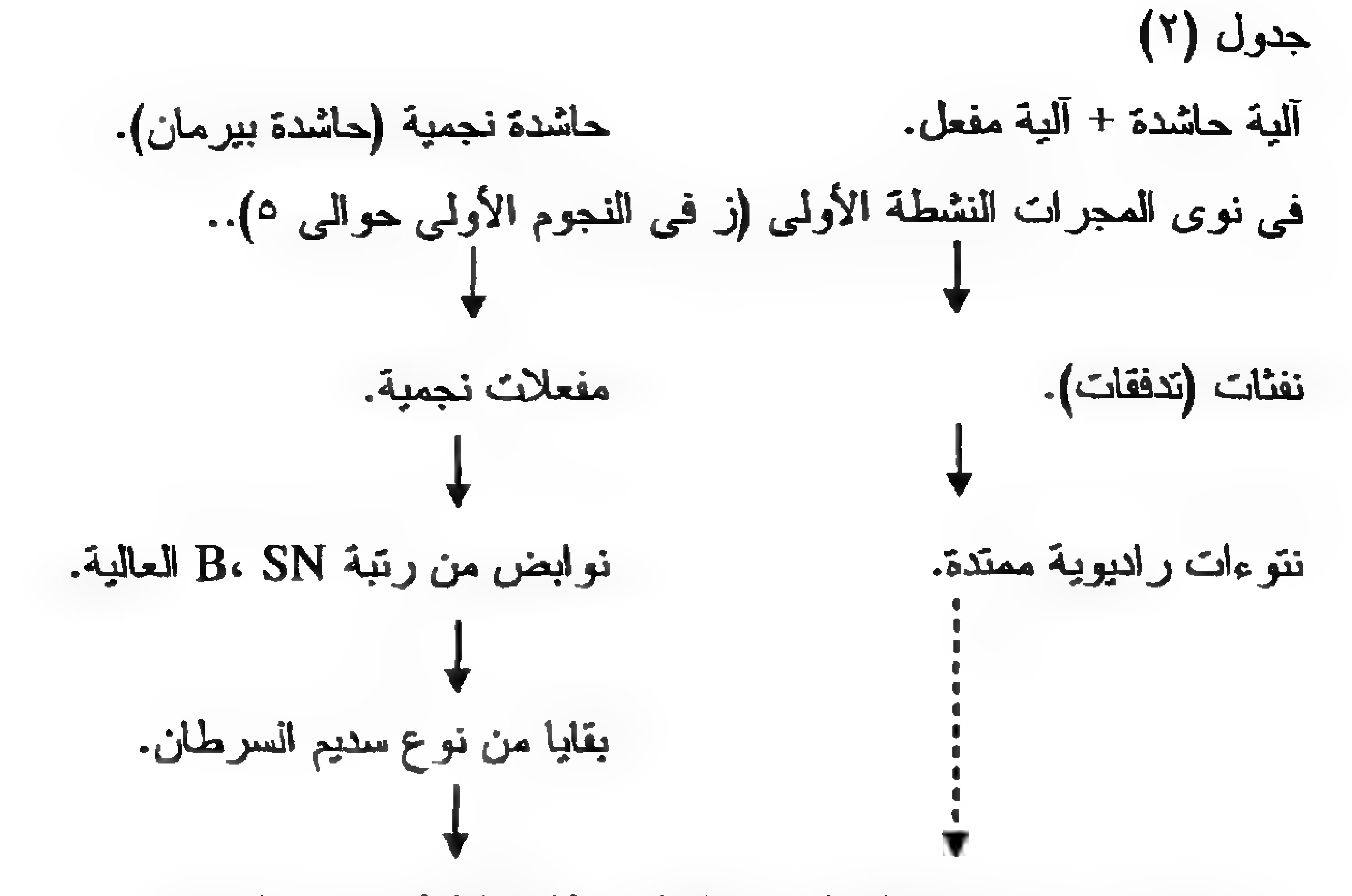
(*) العدد هـ أو e هو أساس اللوغاريتمات الطبيعى ويساوى بالضبط ٢,٧١٨٢٨. (المترجم)

بأنقاض مستعر أعظم، أن يعتبر هو المسئول، حتى لو كان للجرم المركزى المنشىء مجال صفرى عندما تشكل. والنتوءات الراديوية بدورها يمكن أن تكون بمثابة البذور للأقراص المجرّية، إذا كانت مادة النتوءات مختلطة بدورها فى داخل حجم أكبر.

٥ـ ٣ـ ٥ ما الأصل الأرجح لمجال (بذورى) كاف:

يجبهنا المجال البذورى لنشاط مجرى فعال[١١٥] بسؤال أكثر تحديا من بذور النشاطات الفعالة الكونية ذات المقياس الأصغر، نظرا للطول المفرط للمقياس الزمنى المجرى، ومن ثم فإن معامل التضخيم يكون بالتبعية بطيئا. (ولقد افترضت بطبيعة الحال أن آلية التفعيل المجرية من الكفاءة بمكان. فمن الواضح أن المسألة ستكون أسوأ بكثير لو لم يكن الأمر كذلك. وليس لدينا حتى الآن أسس راسخة لتوقع وجود مجالات ذات بال فى الكون المبكر جدا. صحيح أن هناك مبررا منطقيا لتوقع مكونات على مقياس كبير لمثل هذا المجال بحيث يكون صغيرا لا يلفت الانتباه. وآليات الحاشدة على المقياس المجرى حيث ظاهرة "سحب كمبتون" أو الإلكترونات الحرارية الساخنة والتى تولد القوة الدافعة الكهربية ستكون كافية فقط كى تنتج "بذورا" كافية. ومن وجهة نظرى، فإن البديلين اللذين يصورهما الجدول رقم (٢)، واعدان بصورة أكبر، فكل منهما يمكن أن ينتج ١٠ ^-٩^ جاوس (وهما ليسا -تبادليا- بمنقطعى الصلة ببعضهما).

جدول (٢)



مليون من الأنقاض فى مجرة حديثة.

مجال "بذرى" ذو شدة ١٠ ^-٩^ جاوس أو تزيد

ويتوقف تنامى المجال المغناطيسى المجرى على مدى قوة المجال (البذرى) وتوقيت تولده. وبالنظر إلى أهميته فى تشكل النجوم، فإن لدينا فرصة ضئيلة لنتفهم حقيقة كيف يمكن أن تبدو مجرة ذات حيود كبير شطر الأحمر، حتى نولى هذه القضايا الاهتمام الكافى الجدير بها من قبل الخبراء فى مجال المغناطيسية الكونية.

٥- ٤ الأوتار الكونية:

ليس بمقدورنا أن نقرر ما إذا كانت المجالات المغناطيسية قد "بذرت" أو نثرت فى الكون المبكر جدا. فلو أن الأمر كان كذلك، فإن وجودها قد يخبرنا بشىء عن الفيزيائيات الغريبة الجلية لنا من الخارج. وما سيكون مثيرا بحق، بعض بقايا متخلفة كشفت بجلاء أمرا ما عن هذه الفيزيائيات. وقد تكون "الأوتار الكونية "مثالا تأمليا لذلك.

والأوتار الكونية عبارة عن تشوهات (طبوغرافية) ذات بعد واحد، ربما تكون قد تكونت فى الكون المبكر باعتبارها بقايا تخلفت عن مرحلة التحولات الطورية فى الفراغ [١١٦]. وهى تظهر للوجود فى الكثير من نظريات المعايرة gauge، وإن لم يكن فيها جميعا، والتى ينهدم فيها -ذاتيا- نموذج التماثل الأصلى. وهى خطوط من الطاقة المحصورة ذات أبعاد مدهشة. فسمكها أقل من حجم الذرة بمقدار $١٠^{٢٠}$، فى حين أن كتلتها تصل إلى $١٠^{١٧}$ طن لكل متر. وتوصف كتلتها بمعامل عديم البعاد ج م، وهو دالة فى عدد كتل بلانك (هـ س÷ج)$^{١/٢}$ طن لكل وحدة من طول بلانك (ج هـ÷س^{٣})$^{١/٢}$ وإذا كانت التشوهات التضاريسية الأخرى - مثل جدران المناطق(*) domain walls والأقطاب الأحادية Monopoles ، تمثل مأزقا كونيا وإحراجا لعلماء الكونيات، فإن العديد من هؤلاء العلماء يرحبون - على الجانب الآخر بفكرة الأوتار الكونية(١١٧).

وفى خلال انتقال مرحلى مبكر، ربما تتكون شبكة من الأوتار، يمكن وضع نموذج لتطورها اللاحق. وحينما يتقاطع وتر طويل مع نفسه، فإن عروة مغلقة تتوقف فجأة. وفى الأوقات المتأخرة، فإننا نتوقع عددا قليلا من الأوتار "المفتوحة" التى تمتد مباشرة عبر الجزء المنظور من الكون، مع صف من العروات المغلقة التى تمتد حتى نطاق الأبعاد الصغيرة. وقد أشير إلى التأثيرات الجذبوية للأوتار باعتبارها "بذورًا" تتكون منها المجرات والعناقيد [١١٧]. ويستوجب هذا قيمة للمعامل ج م تصل لبضعة أضعاف من $١٠^{-٦}$. وتشكُل التكوينات التى تتسبب فيها الأوتار له ملمحان مميزان: فهو يحدث بسبب تذبذبات بعيدة كل البعد عن نوع "جاوس" كما أن هناك سيادة طبيعية للملامح الخطية ذات الأبعاد الكبيرة. ومن ناحية المبدأ يمكن استشعار الأوتـــار من خلال خرائط التأثير العدسى المتميزة التى يمكن أن تنتجها

(*) جدران المناطق domain walls: وهى تشوه فى الزمكان على هيئة طبقة رقيقة تمثل فى بعض النظريات الموحدة نطاقا فاصلا بين نطاقين مغناطيسيين يحدث خلاله انعكاس تدريجى فى اتجاه المتجه الدال على المغناطيسية ويعتمد سمكها على تجانس خواص المادة فى الاتجاهات المختلفة. (المترجم)

أو عن طريق الآثار ذات الحافة الحادة المتميزة التى قد تخلقها فى خلفية الموجات الميكرونية[١١٨]. إلا أن أكثر آثارها وضوحا وضخامة هو الموجات الجذبوية التى قد تولدها وعروات الأوتار الكونية التى تخفق وتضطرب فى عنف، وبسرعة تدانى سرعة الضوء، وتبعث بموجات جذبوية. ومحصلة الطاقة الضائعة تتسبب فى انكماشها، وفى خاتمة المطاف، فى اختفائها. ولا تكفى حساسية مستشعرات الموجات الجذبوية على سطح الأرض، ولا أجهزة قياس التداخل الفضائية التى تستطيع استشعار الثقوب السوداء المدمجة الكثيفة، كى تكشف عن هذه الموجات الجذبوية (انظر بند ٤- ٤). على أية حال فإن الإشعاع المنبعث من عروات الأوتار المضمحلة لها نطاق من الفترات الزمنية يمكن أن يمتد لسنوات، وهذه الخلفية ذات التردد البالغ الانخفاض قد تفصح عن نفسها عن طريق أرصاد من النوع الذى قد يبدو – للوهلة الأولى – غير ذى علاقة البتة – وذلك بالتسجيل الدقيق الذى يجريه علماء الفلك الردايوى لفترات النوابض فى مجرتنا نحن.

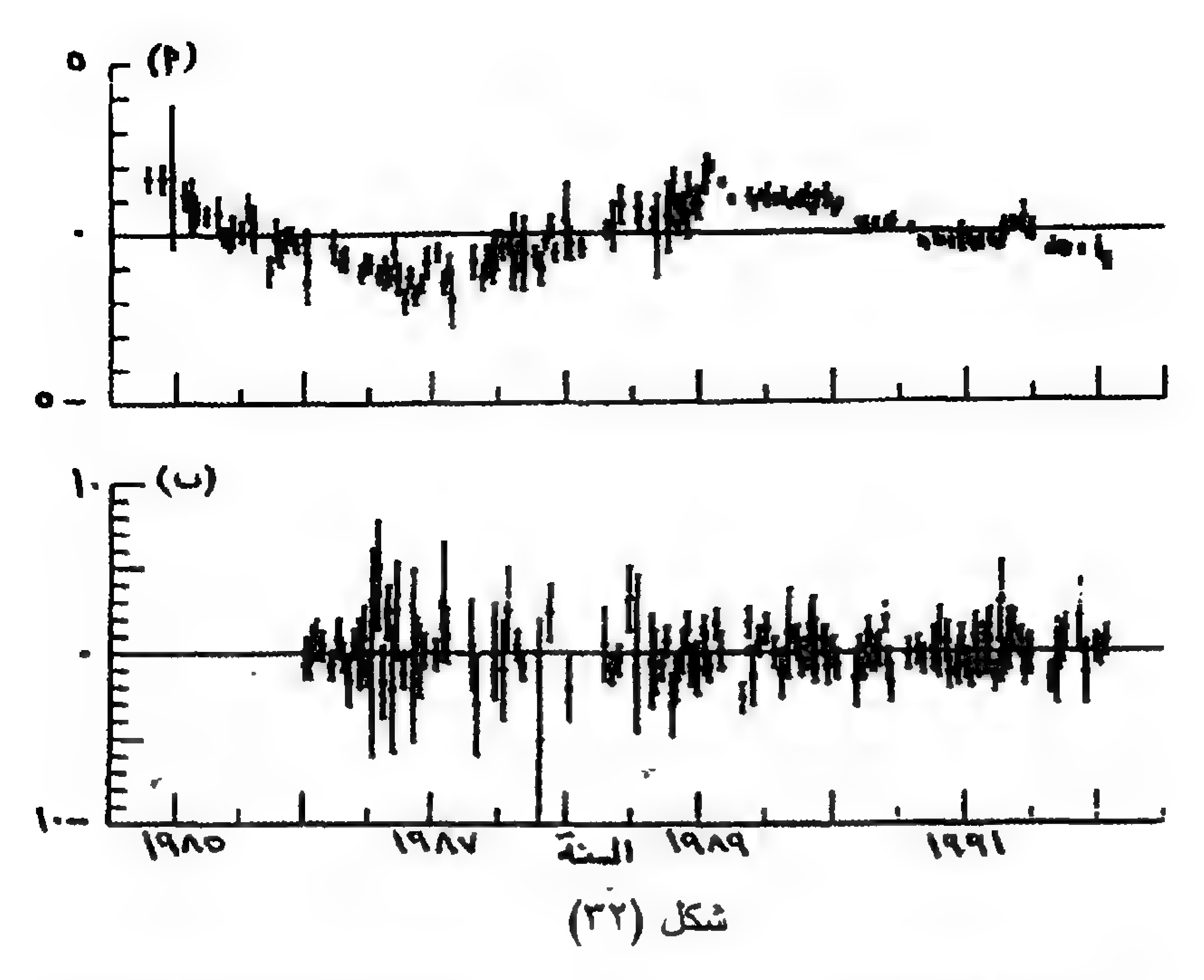
هناك نوعية مميزة من النوابض – والتى يطلق عليها النوابض من رتبة المللى ثانية، تدور حول نفسها بمعدل عدة مئات من المرات فى الثانية، لها نبضات شديدة الانتظام والحدة بحيث إن بقيات التوقيتات(*) تصل فى صغرها إلى أجزاء من الميكروثانية[١٢٠]. وإذا كان الفضاء ما بيننا وبين النجم النابض مضطربا بموجات جذبوية فقد يجلب ذلك "ضوضاء توقيتية". ويمثل النابض أقصى حساسية باعتباره مستشعرا لهذه الموجات التى تقارن فترتها بطول الزمن الذى جرت خلاله الأرصاد، ويصل هذا الزمن إلى رتبة العشر سنوات. إن الساعة الميقاتية للنجم النابض حساسة حتى أجزاء من كل ١٠ ^١٥^. والحد المستدل عليه لخلفية الموجة الجذبوية يعيق شبكة قوية ذات معامل ج م أكثر من بضع مرات من ١٠ ^-٧^. وينبع مصدر عدم الدقة الرئيسى من عدم اليقين النظرى حول كيفية تطور شكبة

(*) بقيات التوقيتات timing residuals : يقصد بها هنا عدم الانتظام المرصود فى حركة النوابض الدورانية. (المترجم)

الأوتار[١١٧]، ومن ثم عدم اليقين فى كثافة الفضاء للعروات ذات الحيز الملائم، كى ينتج موجات جذبوية ذات فترة = ١٠ سنوات.

وبالنظر لفشل الفلكيين المستمر فى تحديد ثابت هابل بدقة أفضل من ٢٠%، فإنه من المرضى أن ندون ظاهرة فلكية يمكن قياسها حتى ١٥ رقما. ومن المدهش حقيقة أن تحركات نجم نيوترونى ضئيل يبعد بالآلاف من السنوات الضوئية يمكن قياسها بدقة، بحيث يمكن تمييز التغيرات فى السرعة القطرية- فى خلال نطاق بضع سنين- التى تصل إلى بضعة ميكرونات فى الثانية، وهى سرعة عقرب الساعات فى ساعة المعصم).

وبطبيعة الحال يمكن أن تكون الأوتار موجودة حتى الآن، رغم حدود الموجة الجذبوية، لو كانت ج م أصغر. ومن شأنها آنذاك أن يقل الاهتمام بها من ناحية تكون المجرات، وإن بقيت أهميتها "بوصفها حفريات" من مرحلة انتقالية مبكرة. والدور المحورى لهذه الانتقالات المرحلية (انظر الباب السادس) هى كونها بمثابة المحرك للانتفاخ. إنها تذكرنا بأن الاضطربات اللاحرارية الجاوسية ليست بمصدر البدء الوحيد الذى يمكن استيعابه بخصوص تشكل التكوينات الكونية.



شكل (٣٢)

بقيات التوقيت لنابضين ذوى دورات من نوع (المللى ثانية): (أ) النابض 1937+21، (ب) النابض 1855+09 (مقتبسة من أبحاث تيلور ومعاونية).

لاحظ أن هذه الأجرام بمثابة (ساعات ميقاتية) ثابتة ومستقرة، تصل درجة دقتها إلى جزء من الميكروثانية عبر سنوات عديدة. وهذه النوابض تعتبر أدوات استشعار حساسة للموجات الجذبوية ذات الدورة الزمنية التى تتراوح بين ١، ١٠ سنوات. وثبات زمان هذه الدورات - من هنا - يضع محددات على الأوتار الكونية (مقتبسة من أعمال تايلور ج. هـ - ١٩٩٢ - الجمعية الملكية (Phil. Trans. Roy. Soc. A341,117)).

الباب السادس

بعض المسائل الجوهرية

٦ـ١ الجاذبية:

لنا هنا كلمة عن الجاذبية، تلك التى تمسك المجرات معا، وكذلك النجوم المفردة. إن ضعف الجاذبية – على المقياس الصغير فيزيائيا، تعكسه حقيقة أن "الثابت الجذبوى للكيانات الدقيقة(*)" اج = ج ك ب٢ ÷هـَ س قيمته ١٠ -٣٨ فقط*.

ولأن الثابت اج على هذا النحو من الضآلة فإن طاقة الربط الجذبوية لا تصبح ذات قيمة إلا عندما تتكدس أعداد هائلة من النوى معا. فعندما تتكدس نوى عددها (ن) فى نطاق نصف قطر متناسب مع ن ١/٣ (أى لدى كثافة ثابتة). تتناسب طاقة الربط الجذبوية لكل ذرة طرديا مع ن ٢/٣. وتبدأ الجاذبية عند قيمة متواضعة لـ (ن) هى ١٠ ٣٨، ثم تأخذ فى التسارع عندما تبلغ ن قيمة ١٠ ٣٨× ٣/٢= ١٠ ٥٧. ويصور شكل ٣٣ (والشرح المرافق له) ذلك، ويبين بوضوح أن هناك أسبابا فيزيائية أساسية لماذا يتعين على حشد من الباريونات عدده زهاء أج -٣/٢ = ١٠ ٥٧ أن تسلك سلوك النجوم (كأنها بمثابة مفاعلات اندماجية محكومة بالجاذبية). وبأسلوب مشابه يظهر أن أطوال أعمار النجوم تتجاوز المقاييس الزمنية (على المستوى المايكرو فيزيائى) بمقدار اج مرفوعة للأس١.

ويمكن التعبير عن أطوال الأعمار بدلالة زمن سالتير (ن س) (انظر المعادلة (٣) والتى تتضمن صراحة أ ج. فمن الواجب أن يكون للكون من العمر ما يكفل

(*) فى هذه المعادلة: ج هى ثابت الجاذبية العام = ٦,٦٧×١٠ – ٨ سم ٣ / جم٢. ث ٢، ك ب هى كتلة البروتون = ١,٨×١٠ – ٢٧ كم، هـَ هى دالة فى ثابت بلانك (هـَ = هـ÷٢ط = ١,٠٥٥× ١٠ – ٣٤ جول. ثانية)، س هى سرعة الضوء = ٢٩٩٠٠٠ كم/ث.

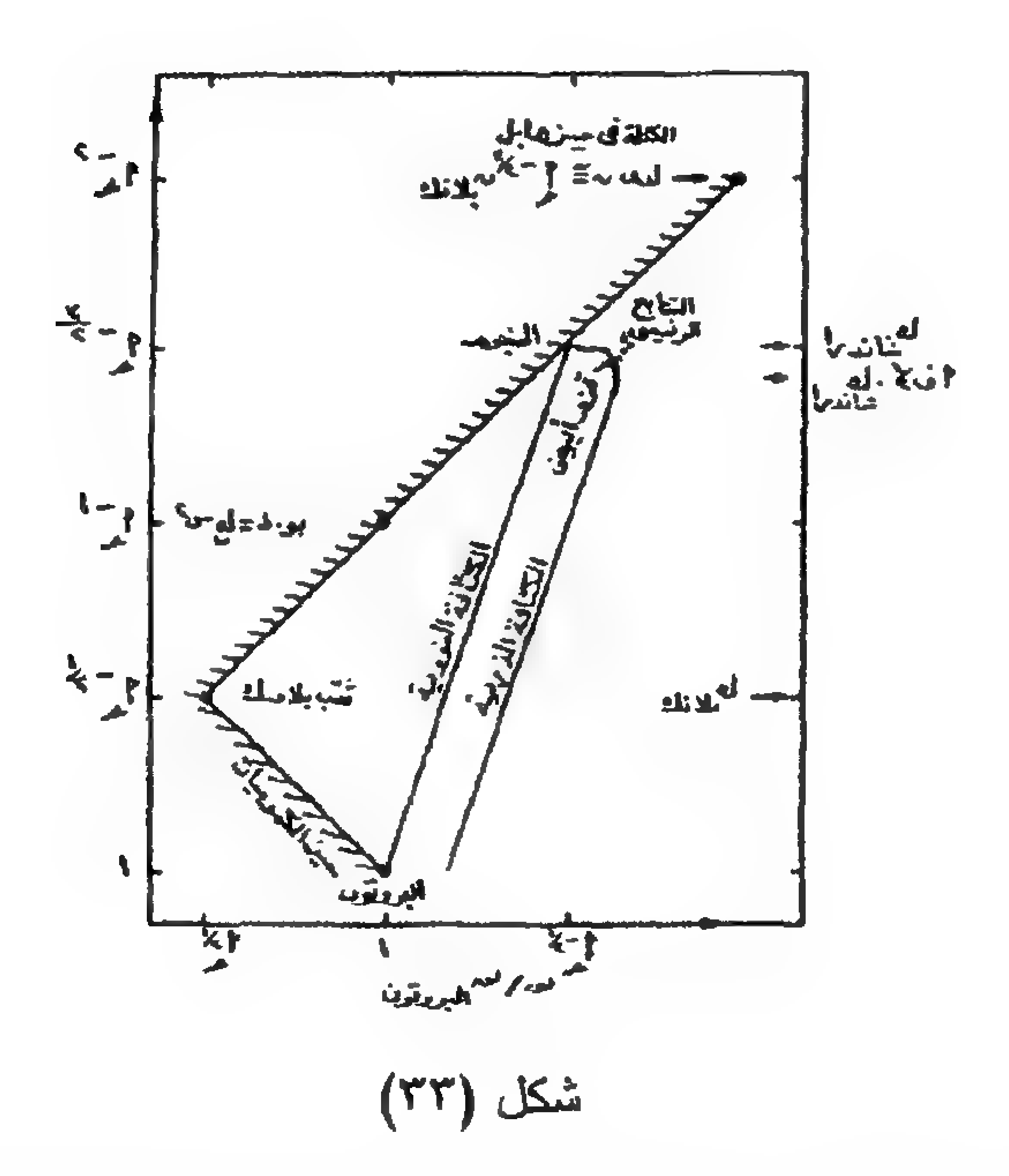
ظهورنا نحن على خشبة المسرح)، وبالمثل أن يكون كبيرا بما يكفى (إذا كان متجانسا). وهناك نتيجة أخرى تترتب على كبر $اج^{-١}$ وتتجلى فى شكل (٣٣)، وهى أن مقاييس بلانك -حين تتداخل تأثيرات الجاذبية والكموم- تختلف عن المقاييس المعتادة التى تقابلنا فى المختبر بل وحتى فى عالم الفلك، بمقدار العشرة مرفوعة إلى أس كبير. فلو أن نموذج فريدمان الكونى يصلح استقراؤه إلى الوراء ليصل إلى زمن بلانك $(ج\ هـ \div س^{٥})^{١/٢} = ٥\times١٠^{-٤٤}$ ثانية، لاحتوى أول جزء من الألف من الثانية على ٤٠ وحدة على مقياس الزمن اللوغاريتمى(*).

وللكيانات الكبيرة كبرا كافيا بحيث تهيمن عليها قوى الجاذبية، خاصية مميزة، فهى عندما تفقد طاقة، ترتفع درجة حرارتها (فحرارتها النوعية بالسالب). فعلى سبيل المثال، لو لم يتم تعويض ما تفقده الشمس من طاقات إشعاع بالاندماج النووى، لتقلصت وانكمشت، لكنها ستنتهى ودرجة حرارة مركزها أعلى من ذى قبل، فلكى تصل إلى الاتزان من جديد بعد تقلصها، حيث يمكن أن يوازن الضغط قوى التجاذب التى زادت بهذا التقلص فلا بد وأن ترتفع درجة حرارة المركز. وتدفع الجاذبية بالأشياء بعيدا عن التجانس، بعيدا عن حالة اتزان حرارى شامل. فبسبب الجاذبية لا بد وأن مناطق الكون المبكر ذات الكثافة الأعلى قليلا قد عانت من التباطؤ أكثر من غيرها، فتخلفت عن غيرها أكثر وأكثر حتى توقف تمددها تماما فى النهاية. وقد نقل عدم الاستقرار الجنيوى هذا، اضطرابات أو تذبذبات

(*) من الملاحظات التى تلفت نظر الفيزيائيين، تكرار ظهور العدد ١٠ مرفوعا للأس ٤٠ ($١٠^{٤٠}$) كثيرا فى علم الطبيعة، فالنسبة بين الحجم المتناهى فى الكبر إلى الحجم المتناهى فى الصغر $= ١٠^{٤٠}$، والنسبة بين القـوة الكهـربية بين البـروتون والإلكترون إلى قوة الجاذبية بينهما $= ١٠^{٤٠}$، والجذر التربيعى لعدد جميع ذرات الهيدروجين الموجودة داخل نطاق حد أولبرز $= ١٠^{٤٠}$، والنسبة بين كثافة المنطقة المركزية لمتفجر فوق العادى إلى متوسط كثافة مادة الكون $= ١٠^{٤٠}$، ويتساءل الفيزيائيون.. هل كل ذلك محض صدف! وقد كان إيدنجتون هو أول من قام بالمحاولة الوحيدة لاكتشاف ماهية هذه العلاقة الغريبة، وإن كان العلماء يشكون كثيرا فيما إذا كانت مدركاتنا الراهنة كافية لمعالجة هذه المسألة معالجة مثمرة. (المترجم نقلا عن كتاب مشارف علم الفلك لفريد هويل).

صغيرة فى الكون المبكر إلى المجرات والتجمعات والتجمهرات (انظر الباب الثالث).

لو أراد أحد أن يوجز - فى جملة واحدة - ما حدث منذ الانفجار العظيم، فإن أصلح إجابة هى أن يأخذ نفسا عميقا ويقول: "منذ البداية أخذت تأثيرات الديناميكيات الحرارية المضادة للجاذبية فى تضخيم حالة عدم التجانس، وفى خلق منحدر تدرج أعمق فى درجة الحرارة، وهو مطلوب أولى ضرورى ليظهر التعقد والتراكب الـــذى نشهـــده حولنا بعد مضى ١٠ بلايين سنة، ذلك التراكب الذى نمثل نحن جزءًا منه.



شكل (٣٣)

يبين هذا الرسم البيانى ملخصا لفيزيائيات النجوم والكواكب وغيرها من الأجرام والمحوران يمثلان نصف القطر والكتلة (منسوبين للبروتون). والملمح المهم الذى يدهشنا هو أن الظواهر الملموسة تحدث للكتل المنسوبة لكتلة البروتون

بعلاقة أسية بسيطة (أ $_{ج}$ مرفوعة لأس بسيط. وكتلة بلانك، التى يناظرها نصفا قطر كومبتون وشفارتزفيلد متساويان، تساوى أ$_{ج}^{-١/٢}$. كب. ونصف القطر المناظر هو طول بلانك = (ج هـ ÷ س ^{٣}) $^{١/٢}$. ولأن هذه الأبعاد تقع بعيدا عن نطاق الأبعاد المعملية أو الفيزيائية الفلكية المناظرة، فإن التقدم العلمى لا يعيقه – فى المقام الأول– جهلنا بالجاذبية الكمومية. فكتلة مقدارها كب. أ$_{ج}^{-١}$ تناظر ثقبا أسود ذا نصف قطر يساوى حيز البروتون. ولمثل هذا الثقب درجة حرارة هوكنج بو.د ≅ ك ب س^{٢} وتشع خلال وقت من رتبة اج$^{-٣/٢}$. ن. (أى زمن عمر النجم ن.).

والكتل النجمية ~ أ$_{ج}^{-٣/٢}$. ك ب. ومقياس بلانك للكتل (رتبة الكتل) أ $^{-٢}$. كب لها أهميتها باعتبارها الكتلة فى نطاق حيز هابل فى نموذج كون فريدمان المسطح الذى عمره يساوى تقريبا ن.

(يمكن أن تتضمن الكتل المجرية فى مثل هذا الرسم، ولكننا وكما ناقشنا فى الفصلين الثانى والثالث لا نلم – بصورة قاطعة – بفيزيائياتها). يؤكد هذا الشكل أنه فقط بسبب كبر المقدار أ$_{ج}^{-١}$ يفصل ما بين مقاييس الفيزياء الميكرونية والفيزياء الفلكية المقدار ١٠ مرفوعًا إلى أس كبير.

٦ـ ٢ الكون متناهى التبكير:

إن تقدمنا فى استيعاب كيفية نشوء المجرات والتجمعات يجلب إلى دائرة اهتمامنا أسئلة جديدة: لماذا نشأ الكون على هذا النحو الذى نرصده من مزيج من الجسيمات والإشعاع؟ لماذا كان له هذا البناء الهندسى المتميز: هذا التجانس الشامل الذى يجعل علم الكونيات بهذه الطواعية، مقرونا بهذه الاضطرابات والتذبذبات الهينة ذات السعات التى تصل إلى أمتار، والتى بدونها يصبح كوننا غير ذى ملامح؟ تكمن الإجابة على كل هذه الأسئلة فى مراحل الكون المبكرة جدا.

لقد أكدت فى الباب الأول على وجود أسس وطيدة لاستقراتنا لأحداث الثانية الأولى، عندما كانت درجة الحرارة ١ ميجا إلكترون. فولت. في ذلك الوقت، حين بدأت النيوترونات والبروتونات فى تخليق العناصر الخفيفة، كانت قيم الكثافات والطاقات متواضعة وكانت الفيزيائيات على المستوى متناهى الصغر (الميكرو فيزيائيات) قياسية، لكن فى الأزمنة الأكثر تبكيرا لا بد وأن الظروف كانت أكثر تطرفا، ولا بد وأن الكون تجاوز الكثافة النووية فى أول جزء من ألف جزء من الثانية. وعند الزمن = $١٠^{-١٢}$ ثانية، كان لكل جسيم من الطاقات ما يتجاوز التترا إلكترون فولت، وهو ما يتجاوز نطاقات المسارعات فى دنيانا الأرضية.

وتأخذنا أربع وعشرون وحدة أخرى على مقياس الزمن اللوغاريتمى إلى الوراء، إلى الملابسات حين كانت درجة الحرارة $١٠^{١٥}$ جيجا إلكترون فولت (تمشيا مع النظريات الموحدة)، وتأخذنا ثمانية عقود إضافية لحقبة الجاذبية الكمومية "quantum gravity" عندما كان نصف قطر هابل مساويا لطول بلانك $(ج هـ ÷ س^{٣})^{-٣٣}$. أى $١٠^{-٣٣}$ سنتيمترا. لاحظ أن زمن بلانك أقل من عمر الكون عند بو. د= $ك_{بروتون}. س^{٢}$= ١ جيجا إلكترون فولت بمعامل كبير، لأنه أساسا مساو للقيمة $أ_{ح}^{-١}$ التى سبقت الإشارة إليها.

إن أحد الشروط الابتدائية لتكون الكيانات(*) هو نسبة الباريونات إلى الفوتونات (ت)، وهو رقم ضئيل يبلغ نحو $١٠^{-٩}$. وعندما تزيد القيمة (بو.د) عن ($ك_{بروتون}. س^{٢}$) فلا بد أن اختلال التوازن بين البروتونات ومضادات البروتونات (أو الكواركات والكواركات المضادة) لا كان صغيرا، يساوى تقريبا (ت). وباتجاه الكـــون نحـــو البـــرودة لا بد وأن هذه الثنائيات بادت وتحولت إلى إشعاع، مخلفة – فقط – كسرا ضئيلا من الجسيمات المفردة لا تزيد قيمته عن (ت). ما هو تفسير هذه الأهمية المصيرية لقيمة (ت)؟ لو انخفضت هذه القيمة إلى الصفر لأضحى الكون – فى بحر عشرة بلايين من السنين – مجرد إشعاع محض. وضآلة هذا

(*) كلمة الكيانات هنا تعنى عموما الأجرام من مجرات وعناقيد وعناقيد عليا. (المترجم)

المعامل، مقارنة بالواحد الصحيح قادت معظم النظريات إلى تأويله على أنه (انحياز) للباريونات فى هذا الكون متناهى التبكير فى نشأته المبكرة الأولى، وضآلة معامل عدم التماثل(ن ب− نَ ب÷ ن ب+نَ ب) = (تا) ترتبط − لدى كثير من النظريات بصغر درجة انتهاك نسبة الشحنة إلى تماثل الخواص charge/parity فى التأثير المتبادل الضعيف، ولن أعود إلى الخوض فى هذه الأفكار بعد الآن اللهم فيما عدا ذكرى لنقطتين:

أ− فى الزمن المبكر الأول كان عدم التماثل يحدد حينما كانت الكتلة داخل نطاق حيز هابل Hubble volume ذلك الذى يطلق عليه مقياس الأفق horizon scale، صغيرة. ورغم أن القيمة (تا) قد تبدى اختلافات بعدية على مقياس متناهى الصغر (مصحوبة − على سبيل المثال − بعيوب فى التضاريس(*)) فينبغى أن تكون منتظمة على جميع المقاييس التى تعنينا فى مجال الفيزياء الفلكية. إن تكون المجرات مما يطلق عليه تذبذبات الباريونات ذات الانحناء الابتدائى المتجانس فى قيمة (ت) (والتى من شأنها أن تتجمد قيمتها عند سعة ذبذبة ثابتة حتى إعادة الاندماج) قد نوقشت [١٢٠]، لكن ما من نموذج راسخ الأركان − فيزيائيا − يبرر تولد تذبذبات ذات انحناء ثابت على مقياس كبير بدرجة كافية. وفى هذا أساس منطقى لتحبيذ فكرة أن التكوينات تعزى إلى اضطرابات فى الانحناء لا تؤثر فى نسبة الفوتونات إلى الباريونات.

ب− قد يكون هناك (انحياز) مماثل للمادة على حساب المادة المضادة بالنسبة للمادة القائمة غير الباريونية فى هيئة ويمبات، والعدد الذى يبقى قد لا يحدده بالتالى الكسر (أو الجزء) الذى يفلت من عملية التفانى annihilation، لكن تحدده بعض الآليات التى تشبه تلك المسئولة عن فائض الباريونات فى الكون.

(*) كلمة تضاريس هنا تعنى عدم الانتظام فى الخواص عبر امتداد الطول. (المترجم)

والنسب – على غرار (ت) – هى أعداد كونية شاملة، بمعنى أنها قد تتخذ نفس القيـــمة فى كامل النطاق للممكن رصده من الكون. ويحددها – بصفة جوهرية – ناتج العمليات الفيزيائية الموضعية التى لم تقيم كميا بعد (الاصطدامات، والتفانى وما إلى ذلك) والتى تقع حينما تكون المادة الكونية الابتدائية آخذة فى التمدد والابتراد فى نطاق حرج من درجات الحرارة. وهذا –على نحو ما– يستدعى سؤالا أكثر فى أساسيته: لماذا كان للكون نفس وتيرة التمدد فى كل مكان منه؟

٦ـ ٣ مشكلتا الاستواء والأفق:

من الأمور الغامضة لماذا لا يزال الكون –بعد مضى عشرة بلايين عام– فى حالة تمدد، مع قيمة للمعامل (ى) لا تختلف كثيرا عن الوحدة. إننا لا نعرف التنبؤ على المدى البعيد، والسيناريوهات المتناقضة عن تمدد أبدى فى مقابل عودة الكون إلى تقلص يؤول إلى انسحاق أعظم تبدو شديدة التباين، لكن لو أن التمدد قد انطلق فى زمن مبكر، فسيبدو مثيرًا للدهشة أن الكون لا هو الذى انهار منذ زمن بعيد ولا هو الذى تمدد بسرعة بحيث أعاقت طاقة حركته التأثير الناجم عن الجاذبية بآلاف المرات. ويلوح أن الظروف تحتاج إلى ضبط أدق يوصلنا لما نحن فيه الآن[١٢١]. ويطلق على هذه القضية "مشكلة الاستواء(*)" flatness problem.

ومشكلة الأفق(**) horizon problem المرتبطة بها أكثر إثارة للحيرة. لماذا ينبغى أن يكون للكون هذه الديناميكيات البسيطة، بحيث يمكننا توصيفه

(*) تعنى ببساطة السر فى التوازن الدقيق فى كوننا بين التمدد الدائم، والتقلص الذى يفضى إلى انسحاق أعظم crunch، وسلوكه لحالة بينهما تقارب حالة الاستواء. (المترجم)

(**) تعنى ببساطة أن ما ترصده فى الكون الشاسع من تجانس يتنافى مع ما كان ينبغى أن يكون لمناطق الكون المختلفة، التى يفترض أن ليس بينها من ترابط سببى حيث إن سرعة انتقال الخواص (من طاقة ودرجات حرارة وغيرها) وكذلك المعلومات لا يمكن أن تنتقل بأسرع من الضوء وهناك مجرات بينها مسافات تزيد عن عمر الكون فهى غير منظورة بالنسبة لبعضها فكيف تجانست خواصها! (المترجم)

بمعامل وحيد م (ن)؟ إن درجات الحرية degrees of freedom يبدو عددها مفتوحا ومرسلا، فى كون كان على درجة عالية من عدم التجانس وانتظام الخواص. فلماذا يا ترى تزامنت الأحداث التى ألمت بكل الأجزاء بحيث بدأ التمدد بنفس الكيفية، منصاعة لنفس القواعد الديناميكية؟ يبدو أن كل أجزاء الكون التى بوسعنا رصدها قد تجانست بذاتها بكيفية ما. على أن الرابطة السببية(*) فى النماذج النظرية القياسية كانت فى الماضى أكثر سوءًا. وفى الأزمنة الباكرة يتناسب المعامل م مع ن^{ر} حيث ر= ٢/٣ إذا أمكن إهمال الضغط مقارنة بالمقدار ث÷س^{٢}، ر=١/٢ فى المراحل المبكرة حين يهيمن الإشعاع. وحينما كان الكون منضغطا (مدمجا) بمعامل ما (ص) (أى عندما كان المعامل م أقل بمقدار ص مرة عن المعامل م الآن) كان المقياس الزمنى للتمدد أقل مما هو الآن بمعامل ص$^{١/ر}$. وتظهر مشكلة الأفق لأن ر < ١. وفى زمن مبكر، لدى قيم أصغر للمعامل (م) كانت كل الأشياء أدنى إلى بعضها. وربما يعتقد المرء أن من شأن ذلك أن يحسن من العلاقة السببية (مثلا من خلال السماح بتبادل أسهل للإشارات الضوئية، وموجات التضاغط وما إلى ذلك). إلا أن العلاقة السببية كانت فى الواقع أكثر سوءًا، لأن الوقت المتاح كان أقصر بمعامل أكبر.

ويمكن تصوير (مشكلة الأفق) بمثال بسيط. هب مجرة تبعد عنا ١٠^{٩}سنة ضوئية. فما دام كان عمر الكون بين ١، ٢ × ١٠^{١٠} سنة فإن هناك مجالا من الوقت ليتم تبادل عشرة إلى عشرين إشارة. وفى حقبة عودة الاندماج، عندما كان المعامل م واحدا على الألف من قيمته الآن، لا بد وأن المجرة كانت على بعد مليون سنة ضوئية – أى أقرب ألف مرة – ولكن بما أن م تتناسب مع ر ٢/٣ بصورة تقريبية خلال الفترة المناظرة لذلك، فإن الكون كان يتمدد عندئذ بمقياس زمنى أسرع ليس فقط بمعدل ١٠^{٣} مرة ولكن بمعدل ١٠^{٤,٥} مرة. ومن ثم فمن شأن الوقت المتاح حينئذ ألا يكفى لتبادل ولو حتى إشارة واحدة مع مجرة أخرى.

(*) الرابطة السببية causal contact: يقال إن بين كيانين اتصالا سببيا إذا أثر فى كليهما حدث ما بطريقة سببية. مثال: كتلتان متجاذبتان.(المترجم)

إن مجرتين تفصل بينهما ١٠ ⁹ سنة ضوئية فى الحقبة الراهنة إذا وقعتا على سطح التشتت الأخير(*) عند قيمة ز = ١٠٠٠ سوف تفصلهما فى السماء زاوية مقدارها $5\sqrt{ي}$ درجة. لماذا إذن عندما نرصد خلفية الموجات متناهية الصغر القادمة من اتجاهين تفصل بينهما زوايا كبيرة، نرصد نفس درجة الحرارة تقريبا؟

٦ـ٤ النماذج وفقا لنظرية الانتفاخ:

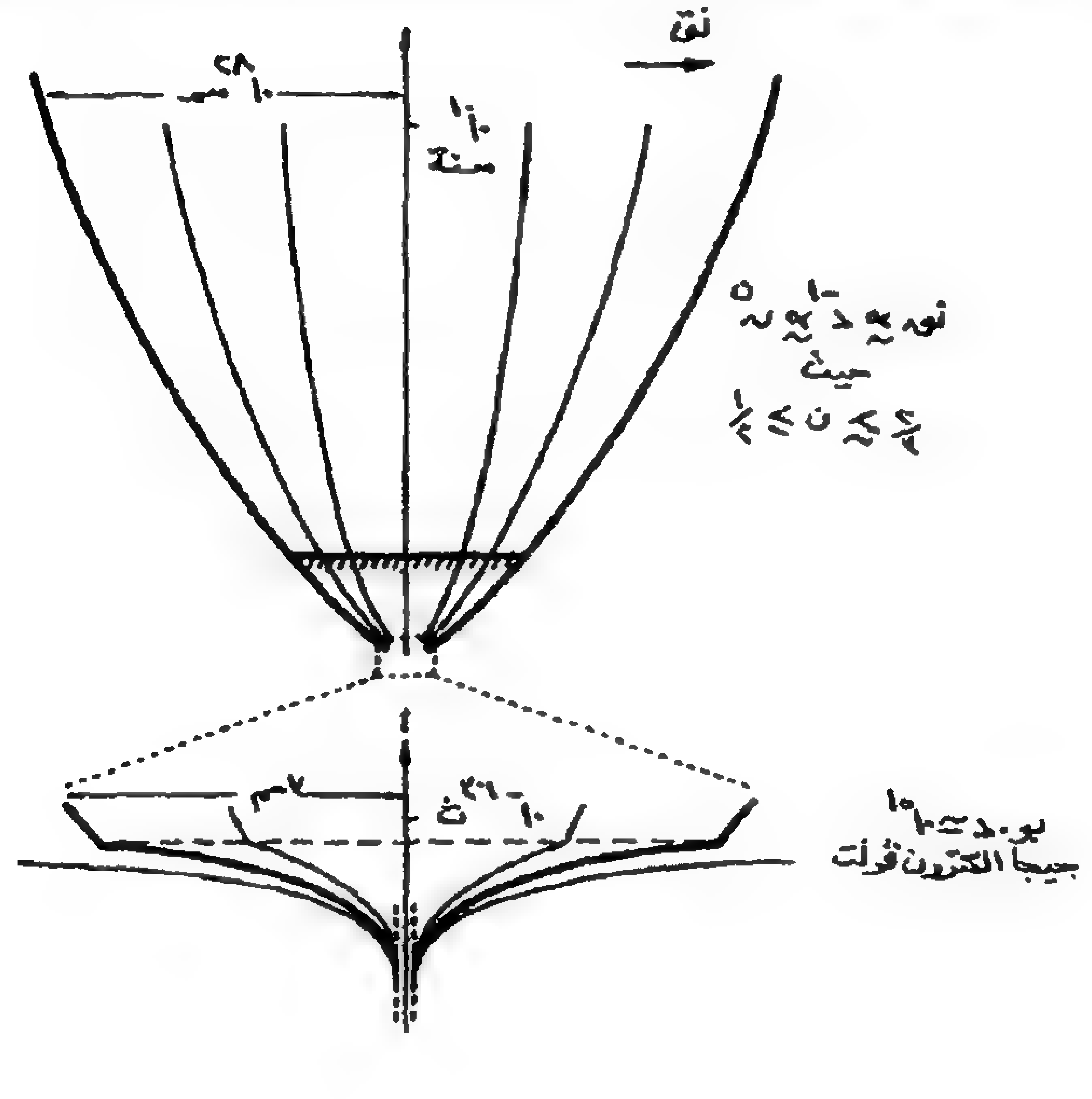
تظهر "مشكلة الأفق" عندما تبطئ الجاذبية من التمدد الكونى، أى عندما يتناسب المعامل م مع الزمن مرفوعا للأس ر (حيث ر <١). والحل المقترح هو افتراض مرحلة تسارع فيها التمدد (بصورة أسية)، وسبقت مرحلة تناسب م مع ن ر. وفى كون ذى تمدد متسارع من شأن العلاقة السببية أن تكون أفضل فى الأزمنة الأكثر تبكيرا. ومن ثم فإن الأجزاء النائية، المنفصلة عن كوننا الحالى ربما تدبرت أمرها وتزامنت مبكرا خلال المرحلة الانتفاخية. إن تفاصيل الانتفاخ بطبيعة الحال تأملية، فهى شديدة التأثر بقوانين الفيزياء لدى الطاقات فائقة الارتفاع التى يكاد جهلنا بها أن يكون مطبقا. على أن الفكرة العامة للانتفاخ ذات جاذبية طاغية[١٢٢]، فهى تقترح حلولا لمشكلتى الاستواء والأفق، وهى حقا -على نحو ما- تطرح لماذا يتمدد الكون، وهو أمر يبدو – فى غير هذا التفسير- جزءًا من الشروط الابتدائية.

ووفقا لنماذج الانتفاخ [١٢٣-١٢٥] فلكوننا حجمه حاليا، وهو يتمدد على هذا النحو الذى يتمدد به لأنه كانت هناك حقبة تمدد بصورة أسية، ربما فى زمن سابق لحقبة بو.د = ١٠ ^{15} جيـجا إلكترون فولت (عندما كان المعامل الزمنى للتمدد ١٠ $^{-٣٦}$ ث). إذا ما مددنا معادلات فريدمان إلى الوراء فى الزمن، فسنجد أن الكون الذى بمقدورنا رصده حاليا كان عندئذ ذا حيز لا يعدو بضعة سنتيمترات (انظر شكل ٣٤ وشرحه). ورغم أن هذا يبدو ضئيلا فإنه بالغ الضخامة لدى مقارنته بمقياس الأفق

(*) سطح التشتت الأخير: هو سطح كروى تخيلى يحيط بالراصد نصف قطره يساوى المسافة التى قطعها الفوتون منذ آخر تشتت له لدى مرحلة إعادة الاندماج. (المترجم)

الذى يمكن حفظ العلاقة السببية فى مداه، والذى يبلغ ٣×١٠ ^-٢٦^ سنتيمتر. على أن الكون الممكن رصده – رغم ذلك – ربما تمكن من البزوغ للوجود من نطاق ذى صلة سببية لا يتجاوز حيزه مقياس بلانك لو سبقته حقبة حافظ فيها التمدد على معدله الأسى بمقدار هـ(*) مرفوعة للأس ٦٠.

إن التذبذبات التى تتكون بناءً عليها العناقيد والعناقيد الفوقية، وحتى ما هو أضخم منها مما ينتشر عبر السماوات والتى تم قياس تأثيرها على خلفية الموجات الميكرونية، هى – إن صحت هذه الأفكار – ظاهرة كمومية أصيلة من حقبة موغلة فى القدم عندما كان نصف قطر هابل أكبر من طول بلانك بمقدار العشرة مرفوعة إلى أس قليل.



شكل (٣٤)

(*) كما سبق القول العدد (هـ) هو أساس اللوغاريتمات الطبيعى وتساوى بالضبط ٢,٧١٨٢٨، ويلاحظ أن هـ ٦٠ = ١٠ ٢٦ كما هو فى شرح شكل (٣٤). (يرمز لـ هـ فى الرياضيات بالرمز e). (المترجم)

تصوير تخطيطى (الزمن موقع على المحور الرأسى ونصف القطر على المحور الأفق) عن كيفية تباطؤ التمدد الكونى. كانت العلاقة السببية أكثر سوءا فى الماضى من جراء هذا التباطؤ – فعلى سبيل المثال، فى حقبة عودة الاندماج كانت الأشياء (الأجرام) منفصلة عن بعضها بمقدار ١ من الألف من الوقت الحالى، لكن مقياس التمدد الزمنى (ومن ثم الوقت المتاح لتبادل الإشارات) كان وقتئذ أصغر، ليس فقط بمقدار ١ من الألف لكن بمقدار واحد من ثلاثين ألفا(*).وعندما كانت بو. د =١٠^١٥ جيجا إلكترون فولت، كان كل شيء داخل نطاق نصف قطر هابل الحالى، متقلصا (منضغطا) بحيث لا يتعدى بضعة سنتيمترات. على أية حال، فقد كان نصف القطر الفعال آنذاك يبلغ ١٠ ^-٢٦ سنتيمتر فحسب. ولتبرير تجانس الكون الراهن تفترض نماذج نظرية الانتفاخ أنه كان هناك – فى زمن أكثر تبكيرًا من هذه الحقبة– فترة كان نصف القطر (نق) فيها يتمدد بمعدل أسى، بمعامل أكبر كثيرا من ١٠ ^٢٦ (أى أكبر كثيرا من هـ مرفوعة للأس ٦٠) (**).

ويبرز طيف هاريسون – زيلدوفيتش للوجود بصورة طبيعية. وبدقة أكثر، يتوقع المرء طيفا مائلا ميلا خفيفا مع ارتفاع لوغارتيمى بطيء فى سعة الذبذبة نحو المقاييس الأكبر. ويعود ذلك إلى أن النمو لم يتوقف تماما عندما يتزايد معيار القياس خارج نطاق أفق الحدث(***)، وقد تمددت المقاييس الأكبر بمعدلات تساوى هـ مرفوعة إلى أسس أعلى من مقياس بلانك(١٢٥، ١٢٦).

(*) لأن ١٠ ٤،٥ = ١٠٠٠٠ × $\sqrt{10}$ ≈ ٣٠٠٠٠ (المترجم)

(**) هـ ٦٠ = (٢،٧١٨٢٨) ٦٠ = ١٠ ٢٦ (المترجم)

(***) أفق الحدث event horizon: مصطلح يطلق على الفراغ المحدد لبداية الثقب الأسود، حيث إنه يحجب أية أحداث تدور بداخله، إذ إن الثقب الأسود يمنع الضوء من التسرب منه. (المترجم)

إن العدد السحرى ض = ١٠ $^{-٥}$، الذى يميز (خشونة) الكون(*) ليس مفهوما على نحو كامل، وهو يعتمد على فيزيائيات ما زالت ذات طبيعة محض تأملية. علـى أن النمـاذج المحـددة لنظرية الانتفاخ تزودنا بتنبؤ كمى متميز لهذا الميل أو الانحراف فى الاهتزازات، وبالمثل لأشياء كالنسبة بين حالة المقادير غير الاتجاهية وحالة الممتد tensor. وتستشعر الأرصاد كليهما بدراسة عناقيد المجرات على المقياس الكبير، وبالتقلبات فى درجة حرارة خلفية الموجات الميكرونية على مختلف المقاييس الزاوية [١٢٧]. وبمقدورنا بناءً على ذلك أن نتطلع إلى استشعارات تجريبية مستقبلا للحقبة الانتفاخية (كما يصورها نموذج الانتفاخ): فحتى إذا لم نكن على بينة من الفيزيائيات الصحيحة، بوسعنا أن نحسب – كميا – التداعيات المترتبة على نموذج نظرى بعينه، وأن نقارنها ببيانات الأرصاد، ومن ثم أن نحصر – على الأقل – نطاق الفيزيائيات الممكن بحثها.

وفـى معظم بدائل نظرية الانتفاخ، من المحتمل أن يتجاوز التنامى الأسى – ما دام قد انطلق – الحدود، فيتمدد أى جزء صغير من سطح عشوائى مشوش غير منتظم فى الأصل بحيث يصبح من الكبر بحيث يمكن اعتباره – جوهريا – فى حكم المستوى – بأى مقياس يمكن أن نرصده الآن. لذا فإنه تنبؤ عام وشامل أن ى =١ (إلا إذا – وكما سنناقش فيما يلى– كان الثابت الكونى أ ليس بصفرى). ولكى يولد الانتفاخ قيمة للمعامل (ى) تساوى – مثلا – ٠,٢، وجب أن يكون معامل الانتفاخ نحو ١٠ ^{٢٩}، وهو ما يجعل مقياس انحناء روبرتسون – ووكر(**) قابلا بنصف قطر هابل الحالى.

(*) استعملت كلمة خشونة الكون هنا استعمالا مجازيا تشير فيه إلى درجة عدم التجانس مثلما يعبر عند درجة عدم استواء سطح ما بالخشونة. (المترجم)

(**) مقياس انحناء روبرتسون – ووكر Robertson- walker curvature scale: هو دالة رياضية توصف الشكل الهندسى للزمكان (الزمان – المكان) فى أربعة أبعاد: ثلاثة مكانية وواحد زمانى (هو الزمن الكونى cosmic time)، وهذه الأبعاد الرباعية تتوافق مع تجانس خـواص الكون فى جميع الاتجاهات، والدالة توصف عموما الفضاء المنحنى الذى لا يتمدد ولا ينكمش بمرور الزمن الكونى، وقد سميت باسم الرياضى والفلكى الأمريكى هوارد بيرس روبرتسون (١٩٠٣– ١٩٦١) والرياضى الإنجليزى جيوفرى ووكر (١٩٠٩ –) (المترجم)

ويقتضي هذا وقوع بعض المصادفات، بل ستكون المتطلبات الإضافية التي يقتضيها ذلك حينئذ أكثر. لا بد وأن كوننا قد بزغ للوجود من جزء من السطح الفائق الأصلي initial hypersurface وله على ما يبدو، تلك الخاصية المتميزة للغاية من حيث انتظام انحنائه إلى حد بضعة أجزاء من العشرة آلاف. ولو لم يكن الأمر كذلك، لخلقت التقلبات في الانحناء، تلك المتبقية من مرحلة ما قبل الانتفاخ، تذبذبات مضاعفة أو ذات أربعة أمثال القيمة (وغير ذلك على المقياس الزاوي الكبير) في خلفية الموجات الميكرونية، أكثر مما يوجد في الواقع. ومن شأن كوننا أن يكون قد انتفش من جزء من السطح الفائق الأصلي الذي كان ذا خصوصية مثلما تبدو الكرة ذات خصوصية إذا كانت تجعدات سطحها لا تصل لأكثر من ١٠ $^{-٥}$ من الانحناء المتوسط.

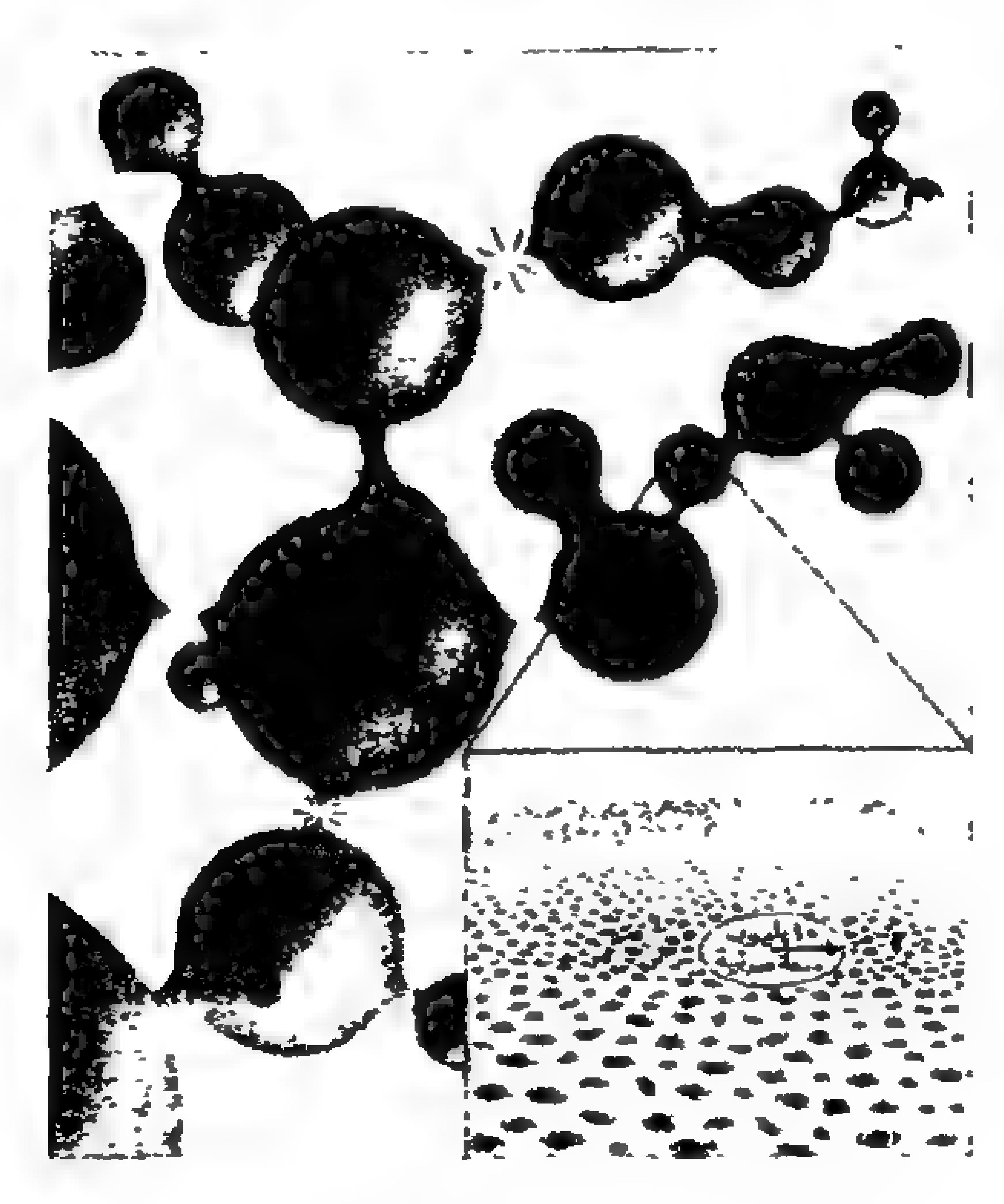
ويمثل ذلك الأساس لذلك (الانحياز) النظري القوي لتحبيذ قيمة الواحد الصحيح للمعامل (ى) (وبشكل أكثر دقة، حيث إن طيف هاريسون - زيلدوفيتش يجب أن يمتد إلى مقاييس (أحياز) تتخطى نصف قطر هابل الحالي، فلنا أن نتوقع قيمة عددية للمقدار [ى$^{-١}$] في حدود ١٠ $^{-٥}$). وكما سلف وناقشنا في الباب الثالث، لا يزال البرهان على هذه القضية غير واضح: فهناك الكثير من المادة القاتمة كي تسهم في ى=٠,٢ والدليل الإيجابي الوحيد على قيمة أعلى من ٠,٢ جاءنا من بعض التحاليل لحركات انسيابية على مقياس الأحياز الكبيرة بالنسبة لتدفق هابل. ولكن قيمة هذا الدليل تحبذ قيمة تتراوح ما بين ٠,٢، ٠,٣ للمعامل ى، تسهم فيها الباريونات بقيمة $ى_ب \cong ٠,٠٤$ وتتوافق قيمة هذه الكثافة الباريونية مع الكميات المقيسة لوفرة الديتوريوم والهيليوم، فنسبة الباريونات في العناقيد عندئذ تساوي تقريبا $ى_ب$: ى، والقيمة المرصودة ز من حيث العلاقة بالعناقيد المجرية تتماشى مع النمو الجذبوي للتكوينات. والسبيل الوحيد للتوفيق بين هذا وبين كون "مسطح" هو اللجوء إلى فكرة "طاقة الفراغ"، أي قيمة غير صفرية للثابت الكوني(أ).

ويبلغ عمر نموذج الانتفاخ النظرى الآن خمسة عشر عاما، وقد بقيت الفكرة العامة على قيد الحياة، بيد أن تنفيذها التفصيلي قد تشعب إلى طرز متعددة. وليس ثمة إجماع على الصلة ما بين أية نظرية موحدة بعينها، والمرحلة الانتفاخية الانتقالية (وقد تهاوت الأفكار الأكثر تبكيرا). على أية حال، فليس من قبيل المصادفة أن تبرز فكرة "الكون الانتفاخى" إلى الوجود فى الوقت الذى بدأت فيه المناقشات حول النظريات الموحدة الكبرى على نحو جاد. وعدم بقاء الباريونات أمر محورى فى أى نموذج انتفاخ نظرى. فليس مقبولا أن ينتفخ الكون إلى حيز هائل إذا كان غير قادر على الاكتظاظ – بعد ذلك – بالباريونات. ويستوجب هذا أن يسخّن الطور الانتقالى – لدى نهاية الانتفاخ – الكون بما يكفى لضمان أن يصح استقرار معامل (أفضلية) الباريونات (ن ب− نَ ب)÷(ن ب+نَ ب) = η فى مجمل الحيز المنتفخ.

ويحبذ الكثير من العلماء النظريين فى الوقت الراهن فكرة "الانتفاخ المشوش أو الفوضوى chaotic inflation" [١٢٨] (*). وطبقا لنموذجه فليس من الضرورى (وكما يصور شكل ٣٥) أن تكون هناك "مفردة" بسيطة ابتدائية، ومرحلة انتفاخ انتقالية تكون بمثابة فاصل وسيط. ويجسد "ليندى" موقفا أكثر تعقدا، فيه تمدد سرمدى، حيث تنتفخ أجزاء مختلفة، مكونة أكوانا مستقلة، منفصلة – سببيا – عن بعضها بعضًا. ولو أن كوننا فى حكم المسطح فإنه يمتد إلى تخوم شاسعة تتجاوز أفقنا الحالى البالغ ١٠ إلى ٢٠ بليون سنة ضوئية، والمقدر له أن يداوم على التمدد، مع بروز مجرات عديدة أخرى للوجود. ولعله أيضا سينهار ثانية فى خاتمة المطاف، لكن فقط بعد أن يتمدد علاوة على حجمه الحالى بمعامل يصل إلى ١٠^٩٠! لكن، إن ما نطلق عليه (كوننا) قد يكون مجرد حيز أو نطاق واحد، أو طور واحد،

(*) نظرية الانتفاخ الفوضوى أو المشوش: هى أحد بدائل نظرية الانتفاخ – اقترحها أندريه ليندى العالم السوفيتى وتنظر لكوننا باعتباره واحدا من أكوان عديدة تولدت نتيجة فراغ يصل إلى حالته الصفرية أو الأرضية. (المترجم)

من دورة توالد سرمدية من "الأكوان" المختلفة، ليس فيما بينها حاليا من رابطة سببية، وإن كان يمكن إرجاع آثارها إلى (أسلاف) مشتركين. وعلاوة على ذلك قلعل الانتقال من طور لآخر، والإدماج، إلخ.. قد جرى بصورة مختلفة فى جميع (الأكوان)، انتهى فى بعضها (ومن ضمنها كوننا) فى صورة مواضع مواتية للتطور الفيزيائى الفلكى المركب. وربما يتوافق خط التفكير هذا مع تلك الإمكانية من أننا لا نحيا فى "أبسط" صور الأكوان (وهى التى فيها المعامل ى = ١ والمعامل أ = ٠)، لكن فى عضو من مجموعة من الأكوان (النمطية)، فيما عدا أنها عرضة لمحدودية إمكانية تشكل المجرات والنجوم.



شكل (٣٥)

شكل تخطيطى تقريبى للغاية عن مفهوم التضخم الخارجى exteral inflation لـــ (ليندى). فكوننا نحن الذى يمتد كثيرا خارج نطاق الأفق الحالى الذى يبلغ $١٠^{١٠}$ سنة ضوئية تقريبا هو مجرد جزئية من تجمع لا نهائى. (مأخوذ من مألوف إى. إف: السماء والمرقب – سبتمبر ١٩٨٨، صفحة ٢٥٦ ٠حق النشر لسكاى بابليشنج كوربوريشن – أعيد إنتاجها بتصريح منها).

وهذا السيناريو، الذى يحل كل الجزء من كوننا مما بوسعنا رصده باعتباره عضوا من مجموعة هائلة غير محدودة، يقع بكل تأكيد على تخوم التأملات. وحقيقة، فإن أغلب النماذج النظرية المحددة عن الكون المبكر للغاية حاليا - ربما كان من الإنصاف أن نقول- تجنب إلى حين. ففيزيائيات أول ١٠ ^-٣٥^ ثانية، وربما حتى أول ميكرو ثانية، غير مؤكدة فى يومنا هذا مثلما كانت الفيزيائيات عند الثانية الأولى، عندما استكشف جاموف(*) وغيره من العلماء الرواد الأصل الكونى للعناصر. لقد استقرت أفكارهم على دعائم راسخة الأركان فى خلال عقد أو عقدين. ولعل بمقدورنا مشاركتهم بآمال مشابهة عن التعايش بين فيزيائيات الطاقة فائقة الارتفاع وبين علوم الكونيات فى العقد القادم(**).

والتكون الابتدائى للنوى، الحادث عندما كان عمر الكون بين ١، ١٠٠ ثانية، حين كان المقدار بو.د يتراوح بين ٠,١ إلى ١ ميجا إلكترون فولت، شمل عمليات فيزيائية (فيزيائيات الطاقة المنخفضة وما إلى ذلك) التى يمكن - تجريبيا - استكشافها. وعلى نقيض ذلك فإن قيم الطاقات والكثافات فى الحقب الباكرة جدا والمناظرة لتحديد الأرقام الكونية الأساسية مثل ت، ض قيم شديدة التطرف بحيث يصعب محاكاتها على سطح الأرض، حتى باستخدام المسارعات. ومن شأن هذا أن يجعل التحديات مما نواجه مثبطة للهمم. على أن نفس هذه الملابسات على الجانب الآخر تزودنا بحافز إضافى، فالكون المبكر قد يقدم الاختبارات الحقيقية الوحيدة للنظريات الموحدة الجديدة، كونه المكان الوحيد التى تتجسد فيه تداعياتها المتفردة. فى عقد الخمسينيات كان علم الكونيات خارجا عن الخط الأساسى لعلوم الفيزياء، ولم يكن أحد من العلماء يعيره الاهتمام اللهم إلا نفر قليل من

(*) جورج جاموف ١٩٠٤- ١٩٦٨) عالم أمريكى (من أصل أوكرانى) فى مجال الفيزياء الذرية والفيزياء الفلكية والكونيات. طور مع معاونيه بديلا لنظرية الانفجار الأعظم فى أربعينيات القرن العشرين، وتنبأ عندئذ بالإشعاع الخلفى الميكروويفى الذى تم التحقق من وجوده فيما بعد عام ١٩٦٤. (المترجم)

(**) يقصد به العقد الأول من القرن الحادى والعشرين، حيث إن الكتاب قد نشر عام ٢٠٠٠. (المترجم)

– "المتهوسين" على شاكلة "جاموف". وعلى النقيض من ذلك. تأسر قضايا علوم الكونيات حاليا شغف العديد من الفيزيائيين النظريين ممن يشكلون التيار الرئيسى للفيزيائيات. وكم يشكل هذا أرضية جيدة لنظرة مستقبلية متفائلة.

٦ـ٥ العبرة الختامية:

إن علم الكونيات هو موضوع يقف عند تخوم منتصف المسافة ما بين الفيزيائيات الأساسية وما يمكن أن نطلق عليه علم (الظروف والأوضاع المحيطة). وهو بالتبعية يجبهنا بأسلوبين متناقضين من المشاكل. وتشبه بعض النواحى فى علم الكونيات، الفيزياء الجزيئية، وهو موضوع يعتصم ممارسوه بالنظريات ذات العدد القليل من العوامل المتغيرة التى يمكن مقارنتها – بكل دقة – بالبيانات المتوفرة. وهناك – بالأساس – أربعة أرقام كونية أساسية فحسب:

أ- الثابت الجذبوى ا ج والذى يقاس به ضعف قوة الجاذبية، مقارنة بالقوى الأخرى. وحقيقية فهذا المقدار يختلف اختلافا بينا عن الوحدة، بما يسمح بعدد هائل من التسلسلات فى تركيب كتل الجسيمات ترتيبا هرميا، ومن المقاييس المستعملة على المستوى الكونى.

ب- مجمل الانحناء (والمرتبط بقيم (ى) (أو أو ميجا)، الثابت الكونى أ الذى يصل – طبقا لنموذج نظرية الانتفاخ – إلى الصفر.

ج- الكثافة الباريونية والمعبر عنها بالمعامل ت.

د-سعة ذبذبة الانحناء ض، وهى – وفقا لنموذج نظرية الانتفاخ – رقم مفرد، وطبقا للأرصاد تم حصرها فى حدود قيمة قريبة من ١٠ $^{-٥}$.

ويحدونا كبير الأمل فى استخلاص هذه الأرقام الكونية الأربعة من خلال الفيزيائيات الأساسية. وعلاوة على ذلك، فحسبنا هذه الأرقام كى نحدد الملامح

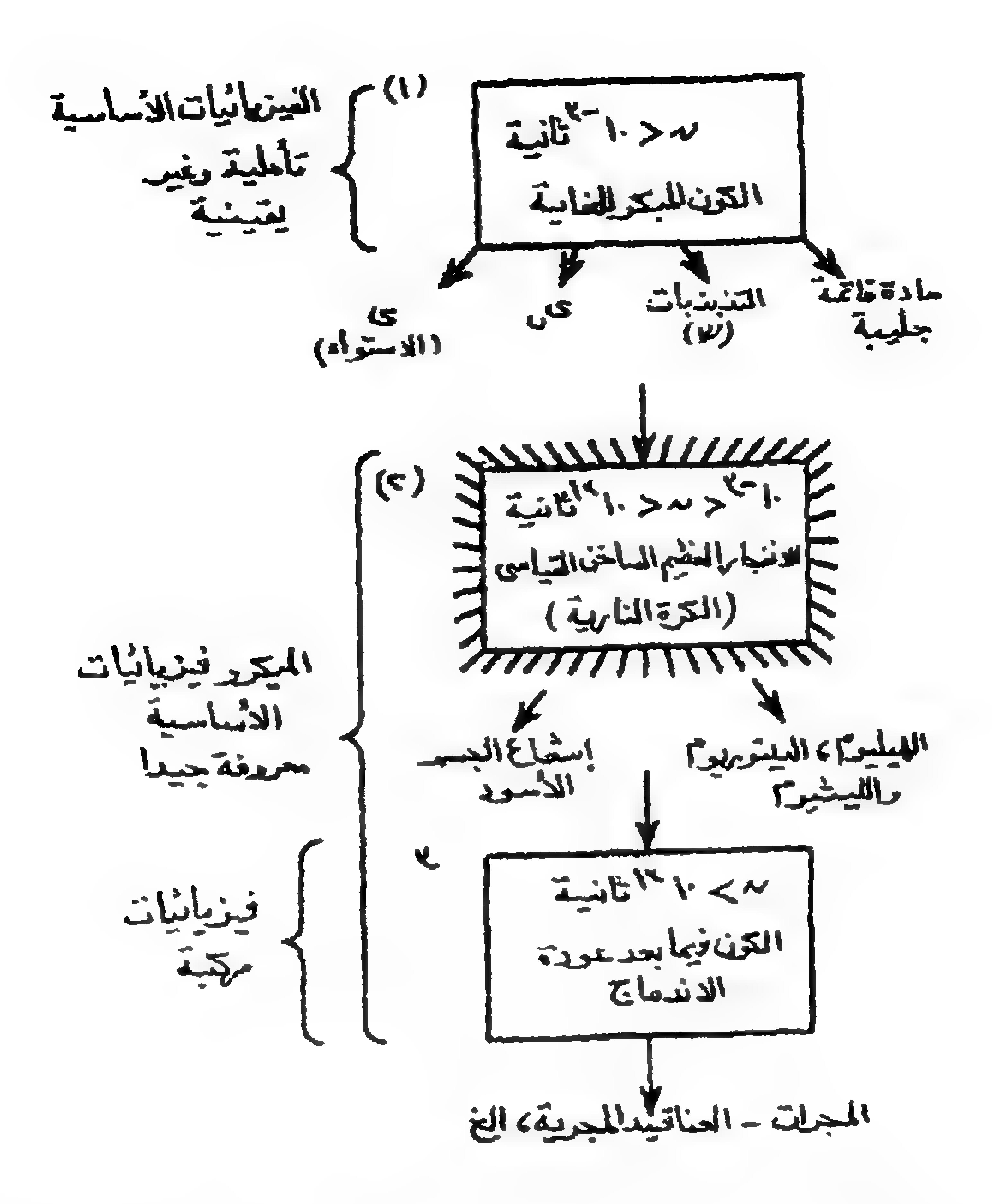
الرئيسية لكوننا الحالى، والحقبة الزمنية التى تشكلت فيها المجرات، والتكوينات ذات الأبعاد الهائلة، والعناصر الخفيفة.. إلخ، هذا إذا ما رفدتها معارفنا عن ماهية المادة القاتمة التى قد نتعرف عليها عما قريب من خلال الفيزيائيات الأساسية.

على أن مولد مجرة ما يقتضى معرفة الديناميكيات التى تسرب بها الغاز، وتكون النجوم والتأثير المتبادل بين النجوم والمستعرات العظمى، وجميعها عمليات معقدة ومليئة بالألغاز. ولن تكون النماذج النظرية عن تشكل المجرات خالصة صرفة كالنظريات التى يتوق إليها فيزيائيو الجسيمات الأولية، بل دائما ما سيكون هناك عنصر ما من التوفيق بين العوامل المتغيرة، تحدوه الأرصاد. والمشاكل بينها من التشابك والتراكب بحيث ما من سبيل لحل مشكلة مفردة منها حلا واقعيا، إذا لم تكتمل الصورة برمتها وتتضح حدودها القاطعة. فعلى سبيل المثال ليس بوسعنا أن نضع نظرياتنا المفترضة عن تشكل المجرات وتطورها موضع الاختبار حتى نستوعب ديناميكا الغاز خلال تكون النجم والدور المحتمل للنوى النشطة، بالإضافة إلى الفيزيائيات غير المألوفة للتذبذبات الكونية الابتدائية.

وبتقدم الأرصاد، والنماذج النظرية الموضوعة جنبا إلى جنب، بمقدورنا أن نأمل حقيقة فى رؤى جديدة مستحدثة تطامن من حيرتنا الراهنة، وتضيق من نطاقات افتراضاتنا فيما يختص بالمادة القاتمة، وتشكل التكوينات الكونية وما شاكل ذلك. ولن تشبه هذه الرؤى المستحدثة نظرية جديدة فى الفيزيائيات الأساسية، وإنما ستكون أشبه بنظرية جيدة فى الفيزياء الجيولوجية (التكوينات الصفائحية على سبيل المثال). فهى فكرة لتوحيد المفاهيم تعطى رؤية تنفذ إلى حقائق لم يسبق ربطها بها، ولا يقلل من شأن علم التكوينات الصفائحية أنه لا يستطيع التكهن بشكل القارات.

ورغم الترحيب الذى يحظى به أى أمر يثير شغف جمهور العامة بالعلم، فأعترف بأننى لا أشعر بكبير ارتياح نحو الترويج (الشعبى نوعا ما) لعلم الكونيات. فبادئ ذى بدء إذا كنا كثيرا ما ندعى أننا بسبيلنا إلى نزع آخر قناع عن وجه الحقيقة أو إلى إنجاز اكتشافات من شأنها أن تزيح الأفكار القديمة عن

عرشها، فإننا بكل تأكيد سنتسبب فى تآكل مصداقيتنا. وإنما تدعونا الفطنة إلى أن نكبح من جماح المغالاة قليلا. والأمر الثانى هو أن علينا ألا نخلط بين الأمور التى توطدت أركانها، وتلك التى لم تصل بعد إلى ذات الدرجة من اليقين. وهذا التمييز بين الأمرين يبينه شكل (٣٦)، الذى يقسم تاريخ الكون – وفقا لفرضية فريدمان عن "الانفجار الأعظم الساخن" إلى ثلاثة أجزاء. ويغطى الجزء الأول، أول مللى ثانية (٠,٠٠١ من الثانية)، فالعديد من الملامح الجوهرية لكوننا الراهن، مثل هذا الخليط الأساسى من الجسيمات والطاقة، والاضطرابات التى نجم عنها التكوينات الكونية، هى من مواريث تلك المرحلة التى أرست أسس الظروف الأولية للمرحلة الثانية.



تاريخ الكون طبقا لنموذج الانفجار الأعظم القياسي، مقسما إلى ٣ مراحل.

ويمتد الطور الثاني من ١٠ $^{-٢}$ ثانية حتى حقبة إعادة الاندماج recombination عند زمن ١٠ ^{١٣}(*) ثانية. إنها الحقبة التي يشعر فيها العلماء التجريبيون المتحفظون - شأني - بالارتياح، الذي يحس به المرء وهو في داره). فدرجة الحرارة السائدة أقل من ١٠٠ ميجا إلكترون فولت، والكثافات حتى لو

(*) يكافئ هذا زمنا قدره نحو ٣٠٠ ألف سنة من نشأة الكون. (المترجم)

اشتملت الإشعاع أقل بكثير من الكثافات النووية، ومن ثم لا تعود فيها فيزيائيات الجسيمات متناهية الصغر محل شك. ومن الممكن إجراء تنبؤات كمية معتمدة على أسس فيزيائية راسخة. وعلى سبيل المثال فإن نموذج الكرة النارية النظرى القياسى يعطى – مع اختيار قيمة ملائمة للكثافة الباريونية- توافقا لا بأس به مع ما هو مرصود من وفرة فى العناصر الخفيفة. وهذه العناصر، إلى جانب الإشعاع الخلفى ذاته. يقدم لنا أساسا تجريبيا لهذا الطور الثانى.

عند مرحلة ما بعد حقبة إعادة الاندماج، تكاثفت التكوينات الكونية من الكرة النارية الهلامية ذات الشكل غير المحدد. وتبقى فيزياء الكيانات الدقيقة مبادئ بعيدة عن مجال النقاش. إلا أن أخذ الأمور بهذه البساطة يتوقف بمجرد أن تظهر العلاقة غير الخطية وتنشأ المنظومات المقيدة، إذ تقترن قوى الجاذبية، وديناميكيات الغاز وكل المتغيرات الفيزيائية داخل كل حيز لانداو وليفتشيتس(*) "landau and Lifshitz" لتبدأ التراكيب المعقدة التى نشاهدها حولنا، بل والتى نحن جزء منها.

ويزودنا التجريب بدعم راسخ (وبارتباط وثيق بالفيزيائيات المعروفة لنا) عندما نتحدث عن الزمن بعد أول مللى ثانية وعند هبوط المقدار (بو.د) عن نحو ١٠٠ ميجا إلكترون فولت، أى عند التكون النووى الأولى (**) وما يليه. غير أننا نصبح فوق أرضية أقل استقرارا عندما نغامر باستقراء ما حدث خلال المللى ثانية الأولى، وهو ما لا يجب أن نخفيه. وعندما تشوش المعارف الشائعة الحدود الفارقة ما بين الطورين الأول والثانى، فإننا نخاطر. فالقراء إما أن يقبلوا تخميناتنا فيما يخص المراحل المتناهية التبكير دون تمحيص، وإما أن يخفقوا – إذا كانوا أوفر

(*) ليف لاندوا (١٩٠٨– ١٩٦٨) عالم سوفييتى فى مجال الفيزياء النظرية له أبحاث فى الموائع والتوصيلية- حاصل على جائزة نوبل فى الفيزياء لعام ١٩٦٢، ويفجينى ميخايلوفيتش ليفشيتز (١٩١٥– ١٩٨٥) عالم له بحوث فى النسبية العامة، وقد اشترك الاثنان فى تأليف سلسلة مهمة من كتب الفيزياء. (المترجم)

(**) التكــون النــووى nucleosynthesis: هو عملية خلق نوى ذرية جديدة من نيوكليونات (أى بروتونات أو نيوترونات) موجودة سلفا. (المترجم)

حظا من التشكك – فى تقدير أهمية أن بعض نواحى علم الكونيات تلك المتعلقة بالطورين الثانى والثالث لها أساس تجريبى كمى راسخ.

ولكن، على الرغم من هذا "التحذير الصحى"، فإنى متفائل إزاء ما خلصت إليه. فمن الأمور المشهودة أن المراقب بمقدورها أن تمسح الآن تسعين فى المائة من تاريخ الكون، وبمقدورنا أن نبدأ فى وضع نماذج نظرية تفصيلية عن كيفية تطور التكوينات الكونية الحالية من بداياتها الهلامية، وبمقدور التقنيات الأخرى أن تسبر وتستقصى حقبا زمنية أكثر تبكيرا وتتحرى عن طبيعة المادة المعتمة. وهذا التقدم يجلب إلى بؤرة الاهتمام مجموعة جديدة من المشاكل الأساسية عن المراحل المبكرة جدا للكون والتى يستوجب حلها فيزيائيات الجزيئات ذات الطاقة متناهية الارتفاع(*) ultra- high- energy particle physics والنظريات الموحدة. بوسعنا أن نتطلع إلى الأمام نحو تعايش بين هذه الموضوعات، يتسم بالتحدى والعقلانية. إن الجوانب التأملية والتخمينية فى علم الكونيات تتجه نحو الانضواء تحت إطـــار الفيـــزيائيات الجادة، وإنى لآمل أن تكون هذه المحاضرات قد أضفت – على الأقل – بعض النكهة المستحبة على هذا التقدم ووجهات النظر هذه.

(*) هى جسيمات ذات طاقة حركة غير معتادة تتخطى ١٠ ٢٠ إلكترون فولت، أى أنها تتجاوز نطاق الميكرو فيزياء إلى نطاق الماكرو فيزياء، وهى ظاهرة غير عادية رصدت أول مرة فى نيومكسيكو. ويرجح أن مصدر هذه الجسيمات النوى المجرية النشطة. (المترجم)

المراجع

1. Friedmann, A. 1922, *Z. Phys.* **10**, 377.
2. Hubble, E. 1929, *Proc. Nat. Acad. Sci.* **15**, 168.
3. Bondi, H. & Gold, T. 1948, *Mon. Nat. Roy. Astron. Soc.* **108**, 252. Hoyle, F. 1948, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **108**, 372.
4. Sandage, A. 1961, *Astrophys. J.* **133**, 355.
5. Ryle, M. 1958, *Proc. Roy. Soc. A* **248**, 289.

5a. Williams, R. E. *et al.* 1996, *Astron. J.* **112**, 1335.

5b. Steidel, C. C. *et al.* 1996, *Astron. J.* **112**, 352.

5c. Steidel, C. C. *et al.* 1996, *Astrophys. J.* **462**, 217. Lowenthal, J. *et al.* 1997, *Astrophys. J.* **481**, 673.

6. Schneider, D. P., Schmidt, M. & Gunn, J. E. 1991, *Astron. J.* **102**, 837.

6a. Weymann, R. *et al.* 1998, *Astrophys. J.* **505**, L95. Spinrad, H. *et al* 1997, *Astrophys. J.* **484**, 587.

6b. Hu, E. *et al.* 1998, *Astrophys. J.* **502**, L89.

6c. Franx, M. *et al.* 1997, *Astrophys. J.* **486**, L715.

7. For a review see G. Maylan (ed.) 1995, *Quasar Absorption Lines* (Springer).
8. Penzias, A. & Wilson, R. W. 1965, *Astrophys. J.* **142**, 419.
9. Mather, J. C. *et al.* 1990, *Astrophys. J. (Lett.)* **354**, L37. Mather, J. C. *et al.* 1994, *Astrophys. J.* **420**, 439
10. Smoot, G. F. *et al.* 1992, *Astrophys. J. (Lett.)* **396**, L1.
11. Hancock, S. *et al.* 1994, *Nature* **367**, 333.
12. For a comprehensive review see White, M., Scott, D. & Silk, J. 1994, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **32**, 319.
13. Hoyle, F. & Tayler, R. J. 1964, *Nature* **203**, 1108. Peebles, P. J. E. 1966, *Astrophys. J.* **146**, 542. Wagoner, R. V., Fowler, W. A. & Hoyle, F. 1967, *Astrophys. J.* **148**, 3

14. Yang, J. *et al.* 1984, *Astrophys. J.* **281**, 493. Walker, T. P. *et al.* 1991, *Astrophys. J.* **376**, 51
15. Burbidge, G. R., Burbidge, E. M., Fowler, W. A. & Hoyle, F. 1957, *Rev. Mod. Phys.* **29**, 547.
16. For a recent review, see Edmunds, M. G. & Terlevich, R. J. (eds.) 1992 *Elements and the Cosmos* (Cambridge University Press).
17. Reeves, H. 1994, *Rev. Mod. Phys.* **66**, 193.
17a. Burles, S. & Tytler, D. 1998, *Astrophys. J.* **499**, 699; **507**, 732.
18. Zel'dovich, Y. B. 1982, *Highlights of Astronomy* **6**, 29.
19. Binney, J. & Tremaine, S. 1987, *Galactic Dynamics* (Princeton University Press).
20. Rees, M. J. & Ostriker, J. P. 1977, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **179**, 541. Silk, J. I. 1977, *Astrophys. J.* **211**, 638.
21. Lake, G. & Feinswog, L. 1989, *Astron. J.* **98**, 166. Begemann, K. G. 1989, *Astron. Astrophys.* **223**, 47.
22 Ostriker, J. P., Peebles, P. J. E. & Yahil, A. 1974, *Astrophys. J. (Lett.)* **193**, L1. Einasto, J., Kaasik, A. & Saar, E. 1974, *Nature* **250**, 309.
23. For a review see Carr, B. J. 1998, *Physics Reports* **307**, 83 and references cited therein.
24. Kahn, F. D. & Woltjer, L. 1959, *Astrophys. J.* **130**, 705. Einasto, J. & Lynden-Bell, D. 1982, *Mon Not. Roy. Astron. Soc.* **199**, 67.
25. The first claim for dark matter in clusters was Zwicky, F. 1933, *Helv. Phys. Acta* **6**, 110. For a recent review see *Observational Cosmology. the Development of Galaxy Systems* . . . Giurilin, G. *et al.* (eds.) ASP 1999.
26. Lynds, R. & Petrosian, V. 1986, *Bull Amer. Astron. Soc.* **18**, 1014. Soucail, G. *et al.* 1987, *Astron. Astrophys.* **172**, L14.
27. Fort, B. & Mellier, Y. 1994, *Astron. Astrophys Rev.* **5**, 239 (and references cited therein). Tyson, J. A., Valdes, F. & Werk, R. A. 1990, *Astrophys. J. (Lett.)* **349**. Knieb, J.-P. *et al.* 1996, *Astrophys. J.* **471**, 643.
28. For a comprehensive recent review of baryonic dark matter, see Carr, B. J. 1994, *Annu. Rev Astron. Astrophys.* **32**, 531.
29 Paczynski, B. 1986, *Astrophys. J.* **304**, 1.
30. Alcock, C. *et al.* 1993, *Nature* **365**, 621. Aubourg, E. *et al.* 1993, *Nature* **365**, 623.
30a. Alcock, C. *et al.* 1996, *Astrophys. J.* **461**, 84.
31. Carr, B J., Bond, J. R & Arnett, W D. 1984, *Astrophys J.* **277**, 445.
32. Refsdal, S 1964, *Mon Not. Roy. Astron. Soc.* **128**, 295. Refsdal, S 1971, *Astrophys J.* **159**, 357. Chang, K. & Refsdal, S. 1979, *Nature* **282**, 561.
32a. Dalcanton, J. J. *et al* 1994, *Astrophys J.* **424**, 550
33. Press, W. H. & Gunn, J. E. 1973, *Astrophys J.* **185**, 397 Blandford, R. D & Jaroszynski, M 1981, *Astrophys. J.* **246**, 1. For a comprehensive recent review see Refsdal, S. & Surdej, J. 1994, *Rep Prog. Phys.* **56**, 117

34. Applegate, J. & Hogan, C. J. 1985, *Phys. Rev.* **D31**, 3037.
35. Iso, K., Kodama, H. & Sato, K. 1986, *Phys. Lett.* **169B**, 337. Thomas, D. *et al.* 1994, *Astrophys. J.* **430**, 291 (and references cited therein).
36. Cowsik, R. & McLelland, J. 1973, *Astrophys. J.* **180**, 7.
37. Marx, G. & Szalay, A. 1972, *Proc. Neutrino 72* (Technoinform, Budapest), p. 191.
38 Lyubimov, V. A. *et al.* 1980, *Phys. Lett.* **394**, 266.
38a For review of detection techniques, see Spooner, N. (ed.), 1997, *Identifying Dark Matter* (World Scientific).
39. For reviews of non-baryonic matter see Kolb, E. W. & Turner, M. S. 1990, *The Early Universe* (Addison Wesley); Ellis, J. R. 1990, in *Physics of the Early Universe*, ed. Peacock, J. A. *et al.* (Scottish Universities Summer School Publications); or Galcotti, P. & Schramm, D. N. (eds.) 1990, *Dark Matter in the Universe* (Kluwer).
40. For a comprehensive survey of 'correlation functions' see Peebles, P. J. E. 1980, *Large-Scale Structure of the Universe* (Princeton University Press).
41. Bond, J. R., Efstathiou, G. P. & Silk, J. I. 1980, *Phys. Rev. Lett.* **45**, 1980.
42. Peebles, P. J. E. 1982, *Astrophys. J.* **258**, 415. Peebles, P. J. E. 1984, *Astrophys. J. (Lett.)* **189**, L51.
43. Harrison, E. R. 1970, *Phys. Rev.* **D1**, 2726. Zel'dovich, Y. B. 1972, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **160**, 1P.
44. Blumenthal, G., Faber, S. M., Primack, J. R. & Rees, M.J. 1984, *Nature*, **311**, 517.
45. Ostriker, J. P. 1993, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **31**, 689.
46. Jenkins, A. R. *et al.* 1998, *Astrophys. J.* **499**, 20.
47. Gott, J. R., Gunn, J. E., Schramm, D. N. & Tinsley, B. 1974, *Astrophys. J.* **194**, 543.
48. Shane, C. D. & Wirtanen, C. A. 1967, *Publ. Lick Obs.* **22**, pt. 1.
49. Maddox, S. J. *et al.* 1990, *Nature* **349**, 32.
50. Geller, M. J. & Huchra, J. P. 1989, *Science* **246**, 897, Shectman, S. A. *et al.* 1996, *Astrophys. J.* **470**, 172.
51. Silk, J. I. 1974, *Astrophys. J.* **193**, 525.
52. Lynden-Bell, D. *et al.* 1988, *Astrophys. J.* **326**, 19.
53. Rowan-Robinson, M. *et al.* 1990, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **247**, 1.
54. For reviews see Bouchet, F. R. & Lachièze-Rey, M. (eds.) 1993, *Cosmic Velocity Fields* (Editions Frontières).
55. Bertschinger, E. & Dekel, A. 1989, *Astrophys. J. (Lett.)* **336**, L5. Dekel, A. *et al.* 1993, *Astrophys. J.* **412**, 1. For a recent review see Dekel, A. 1994, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **32**, 371.
55a. Davis, M., Nusser, A. & Willick, J. A. 1996, *Astrophys. J.* **473**, 22.
56 Dekel, A. & Rees, M. J. 1994, *Astrophys. J. (Lett.)* **422**, L1.
57 Kaiser, N. 1992, *Astrophys. J.* **388**, 272. Mould, J. *et al.* 1994, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **271**, 31

58. White, S. D.M. & Frenk, C. S. 1991, *Astrophys. J.* 379, 52. Lacey, C. & Cole, S. 1993, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 262, 627. Kauffmann, G., White, S. D. M. & Guiderdoni, B. 1993, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 264, 201. Kauffmann, G. & White, S. D.M. 1993, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 261, 921.
59. Perlmutter, S. *et al.* 1997 *Astrophys. J.* 483, 565; Reiss, A. G. *et al.* 1998 *Astron. J.* 116, 1009.
60. Kellerman, K. I. 1993, *Nature* 361, 134.
61. Turner, E. L 1990, *Astrophys. J. (Lett.)* 365, L45. Fukugita, M. & Turner, E. L. 1991, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 253, 99.
62. Sandage, A. & Tammann, G. 1990, *Astrophys. J.* 365, 1. Jacoby, G. H. *et al.* 1992, *Proc. Astron. Soc. Pacific* 104, 599. Van den Bergh, S. 1992, *Proc. Astron. Soc. Pacific* 104, 861.
62a. See, for instance, the contributions by G. Tammann and W. Freedman in Turok, N. (ed.) 1997, *Dialogues in Cosmology* (World Scientific).
63. Efstathiou, G. 1990, in *Physics of the Early Universe*, ed. Peacock, J. A. *et al.* (Scottish Universities Summer School Publications).
63a. Bennett, C. L *et al.* 1996, *Astrophys. J.* 464, L1.
64. Bardeen, J. *et al.* 1986, *Astrophys. J.* 304, 15.
65. Dekel, A. & Rees, M. J. 1987, *Nature*, 326, 455.
66. Blanchard, A., Buchert, T. & Klaffl, R. 1993, *Astron. Astrophys.* 267, 1.
67. Davis, M. *et al.* 1992, *Nature* 356, 489.
67a. Baugh, C. M., Cole, S., Frenk, C. S. & Lacey, C. G. 1998, *Astrophys. J.* 498, 504.
68. Efstathiou, G., Bond, J. R. & White, S. D. M. 1992, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 258, 1P.
69. Kofman, L., Gnedin, N. Y. & Bahcall, N. A. 1993, *Astrophys. J.* 413, 1.
70. Klypin, A., Holtzman, J., Primack, J. R. & Regos, E. 1993, *Astrophys. J* 416, 1. Haehnelt, M. 1993, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 265, 727.
71. Bahcall, N. A. & Fan, X. 1998, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 95, 5956.
71a. Madau, P., Pozzetti, L. & Dickinson, M. 1998, *Astrophys. J.* 498, 106.
72. Hewitt, A. & Burbidge, G. R. 1993, *Astrophys. J. Supp.* 87, 451.
73. Boyle, B. J., Shanks, T., Fong, R. & Peterson, B. A. 1990, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 243, 1.
74. Hewett, P C. & Foltz, C. B. 1994, *Proc. Astron. Soc. Pacific* 108, 113.
74a. Shaver, P. 1995, *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 759, 87.
75. Fall, S. M. & Efstathiou, G. 1980, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 193, 189 For a recent application of this model, see Mo, H. J., Mao, G. and White, S D. M. 1998, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 295, 319.
76. Schmidt, M 1989, *Highlights of Astronomy* 8, 31.
77. Soltan, A 1982, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 200, 115. Phinney, E. S. 1983, Ph D. Thesis, University of Cambridge.

78. Zel'dovich, Y. B. & Novikov, I. D. 1964, *Dukl. Acad. Nauk SSR* **158**, 811.
79. Salpeter, E. E. 1964, *Astrophys. J. Letts.* **140**, 796.
80. Sargent, W. L. W. *et al.* 1978, *Astrophys. J.* **221**, 731. Young, P. *et al.* 1978, *Astrophys. J.* **221**, 721.
80a. Merrett, D. & Oh, S. P. 1997, *Astron. J.* **113**, 1279.
80b. Ford, H. C. *et al* 1994, *Astrophys. J.* **435**, L27.
81. Light, E. S., Danielson, R. E. & Schwarzschild, M. 1974, *Astrophys. J.* **194**, 257.
82. Kormendy, J. 1988, *Astrophys. J.* **335**, 40. Dressler, A. & Richstone, D. O. 1988, *Astrophys J.* **324**, 701. Lauer, T. *et al.* 1998, *Astron. J.* **116**, 2263.
83. Tonry, J. L. 1987, *Astrophys. J.* **322**, 632. Van den Marel, R. *et al.* 1997, *Nature* **385**, 610.
84. Jarvis, B. J. & Dubath, P. 1988, *Astron. Astrophys.* **201**, L33.
85. Bender, R., Kormendy, J. & Dehnen, N 1996, *Astrophys J.* **464**, L123.
86. Kormendy, J. & Richstone, D. D. 1995, *Ann. Rev. Astr. Astrophys.* **33**, 581.
87. Faber, S. M. *et al.* 1997, *Astron. J.* **114**, 1771.
87a Miyoshi, K. *et al.* 1995, *Nature* **373**, 127.
87b. Maoz, E. 1995, *Astrophys. J.* **447**, L97.
88. Rees, M. J. 1988, *Nature* **333**, 523. Ulmer, A. 1997, *Astrophys. J.* **489**, 573.
89. Kocharrek. C. S. 1994, *Astrophys. J.* **422**, 508.
90. Genzel, R., Hollenbach, D. & Townes, C. H. 1994, *Rep. Prog. Phys.* **57**, 417.
91. Eckart, A. & Genzel, R. 1997, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **284**, 576; Ghez, A. M. *et al.* 1998, *Astrophys., J.* **509**, 678.
91a. Magorrian, J *et al.* 1998, *Astron. J.* **115**, 2285.
92. Haehnelt, M. 1994, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **269**, 199.
93. Redmount, I. & Rees, M. J. 1989, *Comm. Astrophys.* **14**, 165 and references cited therein.
94. Haehnelt, M. & Rees, M. J. 1993, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **263**, 168.
95. Navarro, J. & White, S. D. M. 1994, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **267**, 401.
96. Hubble, E. 1936, *The Realm of the Nebulae* (Yale University Press).
97. Chandrasekhar, S. 1975, Lecture reprinted in *Truth and Beauty* (Chicago University Press 1987), p. 54.
98. Gunn, J. E. & Peterson, B. A. 1965, *Astrophys. J.* **142**, 1633.
99. Rees, M. J. 1986. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **218**, 25P. Ikeuchi, S. 1986, *Astrophys. & Sp. Sci.* 118, 509.
100. Miralda-Escude, J. *et al.* 1996. *Astrophys. J* **471**, 582. Hernquist, L. *et al* 1996, *Astrophys J.* 457, L51.
101. Smette, A *et al.* 1992. *Astrophys. J.* **389**, 39.
102. Mo, H J., Miralda-Escude, J. & Rees, M. J. 1993, *Mon. Not. Roy. Astron Soc.* **264**, 705.
102a Haiman, Z & Loeb, A. 1997, *Astrophys. J* **483**, 21. Miralda-Escude, J & Rees, M.

J. 1997, *Astrophys. J.* **478**, L57.

102b. Songalia, A. & Cowie, L. L. 1996, *Astron. J.* **112**, 335.

102c. Miralda-Escude, J. & Rees, M. J. 1997, *Astrophys. J.* **478**, L57.

102d. Mather, J. & Stockman, H. P. 1996, (NASA report).

103. Rephaeli, Y. & Szalay, A. 1981, *Phys. Lett.* B **106**, 73. Scott, D., Rees, M. J. & Sciama, D. W. 1991, *Astron. Astrophys.* **250**, 295.

104. Tegmark, M. & Silk, J. I. 1994, *Astron. Astrophys.* **423**, 529.

105. Scott, D. & Rees, M. J. 1990, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **247**, 510.

105a. Madau, P., Meiksin, A. & Rees, M. J. 1997, *Astrophys. J.* **475**, 429.

106. Swarup, G. 1992, *Giant Metre Wave Telescope* (TIFR Publications).

107. Kronberg, P. P. 1994, *Rep. Prog. Phys.* **57**, 325.

108. Zel'dovich, Y. B., Ruzmaikin, A. A. & Sokolov, D. D. 1983, *Magnetic Fields in Astrophysics* (Gordon & Breach).

109. Mestel, L. 1994, in *Cosmical Magnetism*, ed. Lynden-Bell, D (Kluwer).

110. Ratra, B. 1992, *Astrophys. J. (Lett.)* **391**, L1.

111. Mestel, L. & Spitzer, L. 1956, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **116**, 503.

112. Biermann, L. 1950, *Z. Nat.* **5a**, 65.

113. Kennel, C. & Coroniti, F. V. 1984, *Astrophys. J.* **283**, 694.

114. Chambers, K. C., Miley, G. K. & van Breugel, W. J. M. 1990, *Astrophys. J.* **363**, 32.

115. Parker, E. N. 1979, *Cosmic Magnetic Fields* (Oxford University Press).

116. Kibble, T. W. B. 1976, *J. Phys.* **A9**, 1387.

117. For a comprehensive review see Valenkin, A. & Shellard, P. 1994, *Cosmic Strings and other Topological Defects* (Cambridge University Press).

118. Kaiser, N. & Stebbins, A. 1984, *Nature* **310**, 391. Coulson, D. *et al.* 1994, *Nature* **368**, 27.

119. Hogan, C. J. & Rees, M. J. 1984, *Nature* **311**, 109.

120. Taylor, J. H. 1992, *Phil. Trans. Roy. Soc.* **A341**, 117.

121. Peebles, P. J. E. 1987, *Nature* **327**, 210.

122. Dicke, R. H. & Peebles, P. J. E. 1979, in *General Relativity: An Einstein Centenary Survey*, ed. Hawking, S. W. & Israel, W. (Cambridge University Press).

123. Guth, A. 1981, *Phys. Rev.* **D23**, 347.

124. Narlikar, J. V. & Padmanabhan, T. 1991, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **29**, 325.

125. Liddle, A. R. & Lyth, D. H. 1992, *Phys. Rev.* **231**, 1.

126. Adams, F. C. *et al.* 1992, *Phys. Rev.* **D47**, 426.

127. Starobinski, A. A. 1985, *Sov. Astron. Lett.* **11**, 113. Crittenden, R. *et al.* 1993, *Phys. Rev. Lett.* **71**, 324.

128. Linde, A. D. 1990, *Particle Physics and Inflationary Cosmology* (Harwood, Switzerland).

قراءات إضافية حول الموضوع نفسه

كتب :

Coles, P. & Lucchin, F. 1995, *Cosmology: the Origin and Evolution of Cosmic Structures* (Wiley).

Kolb, E. W. & Turner, M. S. 1990, *The Early Universe* (Chicago University Press).

Padmanabhan, T. 1993, *Structure Formation in the Universe* (Cambridge University Press).

Peacock, J. A. 1998, *Cosmological Physics* (Cambridge University Press)

Peebles, P. J. E. 1993, *Principles of Physical Cosmology* (Princeton University Press).

محاضرات ومؤتمرات :

Bahcall, J. N. & Ostriker, J. P. (eds.) 1997, *Unsolved Problems in Astrophysics* (Princeton University Press).

Calzetti, N. *et al.* (eds.) 1995, *The Background Radiation* (Cambridge University Press).

Crampton, D. (ed.) 1991, *The Space Distribution of Quasars* (Astronomical Society of the Pacific, Conference Series. No. 21).

Fabian, A. C. (ed.) 1992, *Clusters and Superclusters of Galaxies* (Cambridge University Press).

Hawking, S. W. & Israel, W. (eds.) 1987, *300 Years of Gravitation* (Cambridge University Press).

Nobel Symposium 79 on 'Birth and Early Evolution of our Universe', *Physica Scripta* **T36**, 1991.
Peacock, J. A., Heavens, A. F. & Davies, A. T. (eds.) 1989, *Physics of the Early Universe* (Hilger).
Prantzos, N., Flam, E. & Casse, M. (eds.) 1994, *The Origin and Evolution of the Elements* (Cambridge University Press).
Rocca-Volmerange, B. *et al.* (eds.) 1993, *First Light in the Universe: Stars or QSOs* (Editions Frontières).
Rubin, V. C. & Coyne, G. V. (eds.) 1988, *Large-Scale Motions in the Universe* (Princeton University Press).
Schramm, D. N. (ed.) 1993, Proceedings of the National Academy of Sciences Conference on Cosmology, *Proc. Nat. Acad. Sci.* Vol. 90.
Shanks, T. *et al.* (eds.) 1991, *Observational Tests of Cosmological Inflation* (Kluwer).
Thronston, H. A. & Shull, J. M. (eds.) 1993, *The Evolution of Galaxies and their Environments* (Kluwer).
Turok, N. (ed.), 1997, *Dialogues in Cosmology* (World Scientific).

المؤلف فى سطور

مارتن ريس

- ولد عام ١٩٤٢، وهو أستاذ بالجمعية الملكية، وزميل كلية الملك بلندن.
- يشغل منصبا شرفيا فى الجمعية الفلكية الملكية.
- شغل كرسى الأستاذية بجامعتى سسكس وكمبريدج وشغل سابقا منصب مدير المعهد الفلكى بكمبريدج.
- كان أستاذا زائرا فى هارفارد وكالتك وبرينستون.
- بالإضافة إلى إسهاماته الفريدة فى مجال البحوث، فقد حاز على جائزة المعهد الأمريكى للعلوم لمؤلفاته فى العلوم الفيزيائية، كما أنه محاضر موهوب على كل المستويات.
- دعى فى عام ١٩٩٣ لإلقاء سلسلة من المحاضرات العامة تحت رعاية "أكاديمية لينسى الوطنية" استعرض فيها التقدم الواقع فى علوم نظام الكون وآفاقه المستقبلية. وقد نشرت هذه المحاضرات التى حظيت بنجاح منقطع النظير فى كتاب بعنوان "نظريات فى الفيزياء الفلكية لعلم نظام الكون" (منشورات جامعة كمبريدج – سلسلة لينسى عام ١٩٩٥) ويمثل كتابنا هذا نسخة محدثة ومنقحة منها.

المترجم فى سطور

دكتور مهندس/ عاطف يوسف محمود.

- حاصل على درجة البكالوريوس فى الهندسة الميكانيكية – جامعة القاهرة فى ١٩٦٦.
- حاصل على درجتى الماجستير (١٩٧٢) والدكتوراه (١٩٧٦) فى صناعة الحديد والصلب.
- له بحوث علمية عديدة باللغات العربية والإنجليزية والروسية نشرت فى مجلات عربية وأجنبية.
- حائز على لقب مهندس استشارى من نقابة المهندسين المصرية فى مجال دراسات الجدوى وتقييم المشاريع الصناعية.
- يقوم بالترجمة ونشر المقالات العلمية بمجلة العربى الكويتية.
- قام بترجمة كتب "السفر عبر الزمن فى كون آينشتاين" ، و"مرجع روايات الخيال العلمى"، و"منظومتنا الشمسية بين الصدفة والمصير". الصادرة عن المركز القومى للترجمة.

الإشراف اللغوى : **حسام عبد العزيز**
الإشراف الفنى : **حسن كامل**